



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH
GUNUNG LUMPUR SEDATI**

BENZAMIN IKKIAN SILITONGA
NRP 3714100021

Dosen Pembimbing
Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 19811002 201212 2 003
Mariyanto, S.Si., M.T.
NIP. 1991201711044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK IDENTIFIKASI
STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI**

BENZAMIN IKKIAN SILITONGA
NRP 3714100021

Dosen Pembimbing
Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 19811002 201212 2 003
Mariyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19912017111044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

3D DATA GRAVITY INVERSION MODELLING FOR UNDERGROUND STRUCTURAL IDENTIFICATION OF SEDATI MUD VOLCANO

BENZAMIN IKKIAN SILITONGA
NRP 3714100021

Supervisor
Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 19811002 201212 2 003
Mariyanto, S.Si., M.T.
NIP. 1991201711044

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Environment And Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 23 Juli 2018

Menyetujui,



1. W. Lestari, S.T., M.T. (Pembimbing I)
NIP. 19811002 201212 2 003
2. M. Riyanto, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19912017111044
3. Dr. Dwa Desa Warnana (Penguji I)
NIP. 19760123 200003 1 001
4. M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M. Eng (Penguji II)
NIP. 19890208 201804 1 001

Mengetahui,

Ketua Laboratorium Petrofisika
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



W. Lestari, S.T., M.T.
NIP. 19811002 201212 2 003

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN

TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Juli 2018



Benzamin Ikkian Silitonga
NRP. 3714100021

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI

Nama : Benzamin Ikkian Silitonga
NRP : 3714100021
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing 1 : Wien Lestari, S.T, M.T
Dosen Pembimbing 2 : Mariyanto, S.Si, M.T

ABSTRAK

Banyak dijumpai gunung lumpur (*mud volcano*) di Kawasan Jawa Tengah dan Jawa Timur di bagian Utara, namun penelitian tentang gunung lumpur masih terbatas. Penelitian ini fokus pada daerah *mud volcano* Sedati ini dengan luas area penelitian 500x400 meter. Dilakukan pengukuran data metode gaya berat dengan 88 titik spasi 50 meter untuk mengetahui nilai densitas batuan. Dari data yang telah didapat dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan peta persebaran nilai anomali gravitasi regional dan residual. Dari data anomali tadi dilakukan Inversi 3D untuk mendapatkan peta struktur bawah permukaan tanah. Hasil pemodelan inversi 3D gaya berat memperlihatkan bahwa, adanya blok batuan berdensitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai cekungan yang menahan reservoir dari gunung lumpur. Di dekat permukaan dan sekitar semburan lumpur daerah penelitian, persebaran densitas rendah yang disebabkan oleh adanya kandungan lumpur. Terdapat kemungkinan terdapat zona patahan dengan arah Barat – Timur dari daerah penelitian. Hasil sayatan model 3D gaya berat memperlihatkan bahwa zona lemah di daerah penelitian merupakan zona terkumpulnya lumpur yang memiliki nilai densitas sebesar $1,8 \text{ g/cm}^3$ yang berada pada kedalaman 20 meter sampai 500 meter.

Kata Kunci : 2D, 3D, Gaya Berat, Geofisika, Gunung Lumpur, Pemodelan

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

3D DATA GRAVITY INVERSION MODELLING FOR UNDERGROUND STRUCTURAL IDENTIFICATION OF SEDATI MUD VOLCANO

Name : Benzamin Ikkian Silitonga
NRP : 3714100021
Department : Geophysical Engineering
1st Supervisor : Wien Lestari, S.T, M.T
2nd Supervisor : Mariyanto, S.Si, M.T

ABSTRACT

Many mud volcanoes are found in Central Java and East Java in the north, but research on mud volcanoes is limited. This study focuses on mud volcano Across the area with a research area of 500x400 meters. Conducted data measurement method gravity with 88 spaced point 50 meters to know the value of the density of rock. From the data that has been obtained by data processing to get a dispersion map of regional and residual gravity anomaly values. From the anomaly data was done Inversion 3D to get a map of subsurface structures. The 3D gravity inversion modeling results show that in the presence of high-density rock blocks interpreted as basins that hold the reservoir from the mud volcano. Near the surface and around the mudflow of the study area, the low density spread caused by the mud content. There is a possibility of a fault zone with the west-east direction of the study area. The 3D gravity model shows that the weak zone in the study area is 1.8 g / cm³ which is at a depth of 20 meters to 500 meters.

Keyword : 2D, 3D, Geophysical, Gravity, Modelling, Mud Vulcano,

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena atas berkat dan perkenanan-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul: **“PEMODELAN INVERSI 3D DATA GAYA BERAT UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI”** ini dapat terselesaikan dengan baik.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu dan semua keluarga berkat dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Ibu Wien Lestari, S.T, M.T, dan Bapak Mariyanto, S.Si, M.T, selaku pembimbing di perguruan tinggi yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Bapak Kepala Desa Sedati yang telah memberikan ijin untuk dilakukannya akusisi data di gunung lumpur di sedati.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Bapak Robert yang telah memberikan ijin untuk melakukan akusisi data di wilayah kampus Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo.
6. Teman-teman TG-03 atas bantuan di lapangan maupun dukungan dan diskusinya.
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan sebagai modal pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, 23 Juli 2018

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	iii
TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Geologi Regional Lokasi Penelitian	3
2.1.1 Fisiografi	3
2.1.2 Stratigrafi Lokasi Penelitian	3
2.2 Geologi Gunung Lumpur Sedati	6
2.3 Metode Gaya Berat	8
2.4 Hukum Newton tentang Gravitasi	8
2.5 Percepatan Gravitasi	9
2.6 Model <i>Ellipsoid</i> Bumi	10
2.7 Koreksi Data Gravitasi	10
2.7.1 Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>)	10
2.7.2 Koreksi Pasang Surut	11
2.7.3 Gravitasi Observasi (<i>gobs</i>)	11
2.7.4 Koreksi lintang (<i>Latitude Correction</i>)	11
2.7.5 Koreksi Udara Bebas (<i>free air correction</i>)	11
2.7.6 Koreksi <i>Bouguer</i>	11

2.7.7 Koreksi <i>Bouguer</i> Sederhana	12
2.7.8 Koreksi <i>Terrain</i>	12
2.7.9 Anomali <i>Bouguer</i> Lengkap.....	12
2.8 Densitas Batuan	13
2.9 Analisa Spektrum.....	14
2.10 <i>Upward Continuation</i>	15
2.11 Pemodelan Inversi 3D	16
2.12 Penelitian Terdahulu	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Lokasi Daerah Penelitian	19
3.2 Desain Akusisi Data Gaya berat	20
3.3 Data dan Peralatan	21
3.4 Diagram Alir Penelitian	23
3.5 Prosedur Penelitian	24
3.6 Cara Pengolahan Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Analisis Hasil Pengukuran	27
4.2 Data Anomali <i>Bouguer</i>	27
4.3 Hasil Pemisahan Anomali	28
4.4 Hasil Pemodelan	30
4.4.1 Model Awal	30
4.4.2 Hasil Pemodelan 3D	32
4.5 Interpretasi Penampang Model 2D.....	36
4.6 Analisis Model 3D	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
LAMPIRAN.....	51
BIOGRAFI PENULIS.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Gunung Lumpur Sedati-Kabupaten Sidoarjo (Supandjono, J.B., K. Hasan, H. Panggabean, D. Satrio dan Sukadi, 1992)	4
Gambar 2.2 Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur oleh Van Bemmelen (Susilohadi, 1995).....	5
Gambar 2.3 Kolom stratigrafi pada Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur yang menunjukkan keterdapatan hidrokarbon sekaligus berada pada lokasi sumber lumpur pada sedimen miosen tengah hingga pliosen. (Satyana, 2008)	6
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Terbentuknya Gunung Lumpur Secara Umum (Mazzini, 2009)	7
Gambar 2.5 Gaya tarik menarik menarik antara dua benda m_1 dan m_2 (Reynold J. M., 1997).....	8
Gambar 2.6 Nilai densitas beberapa batuan (Hinze, 2013).....	14
Gambar 2.7 Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali gaya berat (Hinze, 2013). 14	
Gambar 2.8 Kurva $\ln A$ terhadap k (Purnomo dkk., 2013).....	15
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dilihat dari <i>Google Maps</i>	19
Gambar 3.2 Desain Akusisi Gaya berat.....	20
Gambar 3.4 Diagram Alir <i>Processing</i> data.....	23
Gambar 3.5 Parameter Model Awal	25
Gambar 3.6 Contoh data anomali residual dalam format*.dat.....	25
Gambar 4.1 Peta Anomali Bouguer daerah Gunung Lumpur Sedati.....	29
Gambar 4.2 Peta Anomali Residual daerah Gunung Lumpur Sedati.....	31
Gambar 4.3 Model Awal menggunakan Grablox 1.6 dan tampilan 3D pada Bloxer 1.6	33
Gambar 4.4 Hasil Komputasi Dasar	35
Gambar 4.5 Posisi Lintasan Sayatan.....	36
Gambar 4.6 Model Hasil Akhir Optimasi Occam h.....	37
Gambar 4.7 Penampang model 2D lintasan A-A'	38

Gambar 4.8 Penampang model 2D lintasan B-B'	39
Gambar 4.9 Penampang model 2D lintasan C-C'	40
Gambar 4.10 Penampang model 2D lintasan D-D'	40
Gambar 4.11 Penampang model 2D lintasan E-E'	41
Gambar 4.12 Penampang model 2D lintasan F-F'	42
Gambar 4.13 Penampang model 3D	42
Gambar 4.14 Persebaran nilai densitas rendah	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Topik Gunung Lumpur dan Gaya Berat	17
Tabel 3.1 Data Koordinat Titik Terluar	20
Tabel 3.2 Data Koordinat Titik Semburan.....	20
Tabel 3.3 Alat Penelitian	21

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung lumpur menjadi topik diskusi yang ramai diperbincangkan dalam beberapa tahun terakhir, khususnya pasca erupsi semburan lumpur Lapindo di Sidoarjo pada tahun 2006. Diskusi tersebut untuk mencari jawaban terkait bagaimana gunung lumpur tersebut terbentuk dan bagaimana pola eksplorasi dan mitigasi kemungkinan bencana yang diakibatkan oleh erupsi gunung lumpur. Pentingnya studi terkait gunung lumpur ini juga dikarenakan fenomena gunung lumpur identik dengan aktivitas tektonik yang kuat (Istadi dkk., 2009; Mazzini dkk., 2009) dan biasanya terletak dekat dengan lapangan minyak dan gas (Burhanuddinur, 2016; Deville dkk., 2003). Bahan yang sering dikeluarkan oleh gunung lumpur adalah lumpur dari yang padat sampai halus yang tercampur dengan fluida seperti air maupun fluida hidrokarbon. Sebagian besar gas yang dilepaskan adalah metana, dengan beberapa karbon dioksida dan nitrogen. (Istadi dkk., 2009)

Salah satu gunung lumpur yang masih sedikit referensi dalam diskusinya adalah gunung lumpur di wilayah Desa Buncitan, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Gunung lumpur di daerah ini merupakan 1 dari 14 gunung lumpur lain di Jawa Timur dan dari 20 gunung lumpur di seluruh pulau Jawa (Burhanuddinur, 2016). Gunung lumpur ini berada di tengah pemukiman serta terletak 5 km dari barat bibir pantai. Berdasarkan penelitian menggunakan metode mikrotremor yang telah dilakukan oleh (Prabawa Arwananda dkk., 2017) di daerah ini, gunung lumpur Sedati memiliki ketebalan lapisan *bedrock*-nya mencapai 70 m dan mengindikasikan kemenerusan patahan Watukosek pada arah SW-NE. Pada penelitian gunung lumpur gunung anyar (Syaifuddin dkk., 2016) juga ditemukan indikasi adanya kemenerusan patahan Watukosek pada arah SW-NE.

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk penyelidikan struktur bawah permukaan yakni metode gaya berat. Metode ini mampu memberikan gambaran bawah permukaan bumi berdasarkan variasi nilai densitas batuan penyusunnya (Setianingsih dkk., 2013). Metode ini juga dapat mendelineasi struktur bawah permukaan (Atef dkk., 2016) berupa zona patahan yang ditandai dengan kontras densitas rendah dengan batuan sekitarnya (Sugianto dan Rahadinata, 2015). Selain itu, metode gaya berat ini juga bisa dipakai dalam penyelidikan panas bumi karena metode ini dapat memperlihatkan persebaran daerah panas yang dapat diindikasikan sebagai sumber panas (Sugianto dan Rahadinata, 2015). Persebaran nilai densitas dan anomali ini dihasilkan dari hasil pemodelan geofisika menggunakan data gaya berat.

Pemodelan geofisika bersifat tidak unik sehingga dapat menghasilkan beberapa model (Grandis, 2009). Penelitian tentang gunung lumpur dengan menggunakan data gaya berat pernah dilakukan di provinsi Golestan, Iran (Baghzendani dkk., 2015) yang berhasil mendapatkan model data gaya berat dengan variasi nilai densitas 2.55 sampai 2.239 gr/cm³. (Kadirov dkk., 2003) juga mendapatkan model gaya berat di lokbatan, Azerbaijan dengan nilai gravitasi -3 mgal sampai 5 mgal. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan data gaya berat dalam pemodelan struktur di gunung lumpur sedati. Pemodelan inversi 3D akan menghasilkan model densitas dengan visualisasi (Zarkasyi dan Suhanto, 2005) dan resolusi kedalaman (Fedi dan Rapolla, 1999) yang lebih baik daripada model 2D. Pemodelan inversi secara 3D ini dilakukan terhadap data anomali residual menggunakan perangkat lunak Grablox dari Pirttijärvi (2004) yang menggabungkan 2 (dua) metode inversi yaitu *Singular Value Decomposition* (Elkins, 1951) dan inversi Occam (Hjelt, 1992). Hasil pemodelan berupa distribusi nilai densitas ditampilkan menggunakan perangkat lunak Bloxer sehingga menghasilkan sayatan penampang 2D dan model 3D. Dari model densitas yang dihasilkan dapat diidentifikasi adanya zona lemah yang ditunjukkan dengan densitas rendah.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan model struktur bawah permukaan gunung lumpur sedati.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Daerah penelitian dilakukan di wilayah Desa Buncitan, Kecamatan Sedati, Sidoarjo.
2. Data gaya berat yang digunakan sebanyak 89 stasiun pengukuran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi nilai densitas hasil pemodelan inversi 3D data gaya berat daerah penelitian.
2. Melakukan identifikasi zona patahan dari hasil pemodelan inversi 3D data gaya berat daerah penelitian.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah

1. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan terkait gunung lumpur di Jawa Timur.
2. Mengetahui arah persebaran lumpur daerah penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada daerah gunung lumpur Sedati yang berada di koordinat 7°23'59,17'' S dan 114°47'20,28'' E. Pada peta geologi regional lembar Surabaya dan Sapulu (Supandjono, J.B., dkk., 1992) lokasi penelitian terletak pada formasi Lidah (ditunjukkan dalam kotak merah gambar 2.1). Formasi Lidah dalam penelitian Susilohadi (1995) terdeposit mulai pliosen akhir hingga pleistosen. Usia deposit tersebut relative lebih muda daripada formasi Kabuh dan formasi Pucangan. Penciri litologi pada formasi Lidah ini menurut Van Bemmelen dalam Susilohadi (1995) adalah batu lempung biru (*Blue Clays*).

2.1.1 Fisiografi

Formasi Lidah dikenal sebagai fasies lempung dari formasi Pucangan. Formasi Lidah meluas dari bagian timur zona Kendeng dan bagian barat – selatan zona Rembang. Formasi lidah memiliki ketebalan yang bervariasi antara 300 – 550 m pada sisi timur zona Kendeng. Variasi ini disebabkan karena perubahan fasies antara tinggian formasi Lidah dengan fasies vulkanik dari formasi Pucangan paling bawah.

Pada gambar fisiografi yang ditampilkan pada gambar 2.2 hasil penelitian Van Bemmelen dalam Susilohadi (1995), lokasi penelitian terletak pada dataran aluvium di bagian utara jawa timur. Dataran aluvium ini berbatasan dengan zona Kendeng dan zona Rembang di bagian Barat. Pada peta geologi regional (gambar 2.1), dataran aluvium ini disimbolkan dengan Qa yang mengelilingi lokasi penelitian.

2.1.2 Stratigrafi Lokasi Penelitian

Stratigrafi pada lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 2.3. Formasi lidah ini termasuk dalam cekungan Jawa Timur bagian utara yang banyak terdapat zona reservoir hidrokarbon (ditunjukkan pada kotak merah). Usia formasi Lidah berada pada era pleistosen. Menurut Satyana dan Asnidar (2008), lokasi reservoir tersebut sekaligus menjadi lokasi asal mula keberadaan lumpur. Secara spesifik, lokasi sumber lumpur pada gunung lumpur Sedati disebutkan berada pada sedimen berusia miosen tengah hingga pliosen yakni pada formasi Tawun (ditunjukkan pada kotak hijau) (Burhanuddinur, 2016). Berdasarkan penelitian Hurun (2016), reservoir batuan yang didiami oleh material lumpur adalah batugamping (*limestone*). Mengacu pada hal tersebut, pada kolom stratigrafi ini juga diperkirakan sumber lumpur tersebut berada pada lapisan batugamping (*limestone*) pada formasi Tawun.

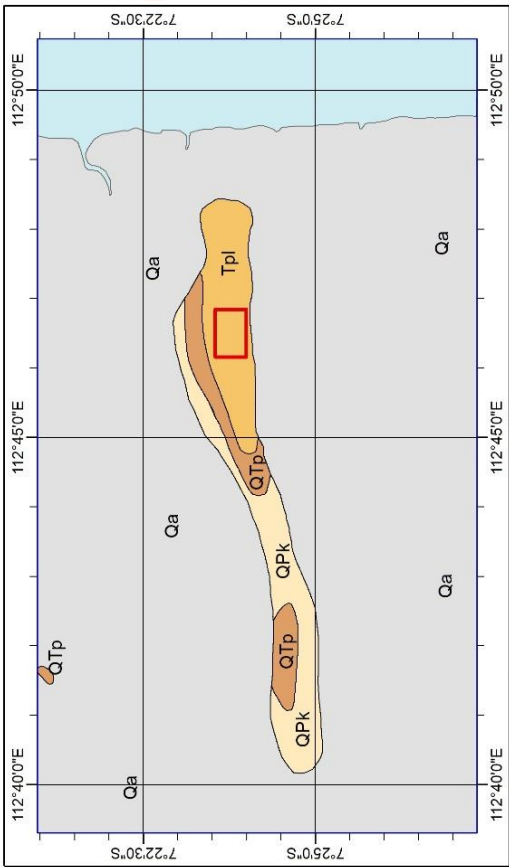
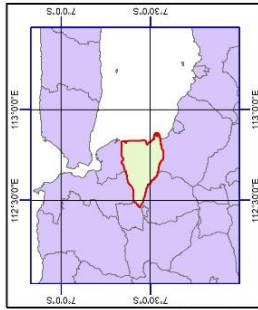
PETA GEOLOGI REGIONAL GUNUNG LUMPUR SEDATI - KABUPATEN SIDOARJO



Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018

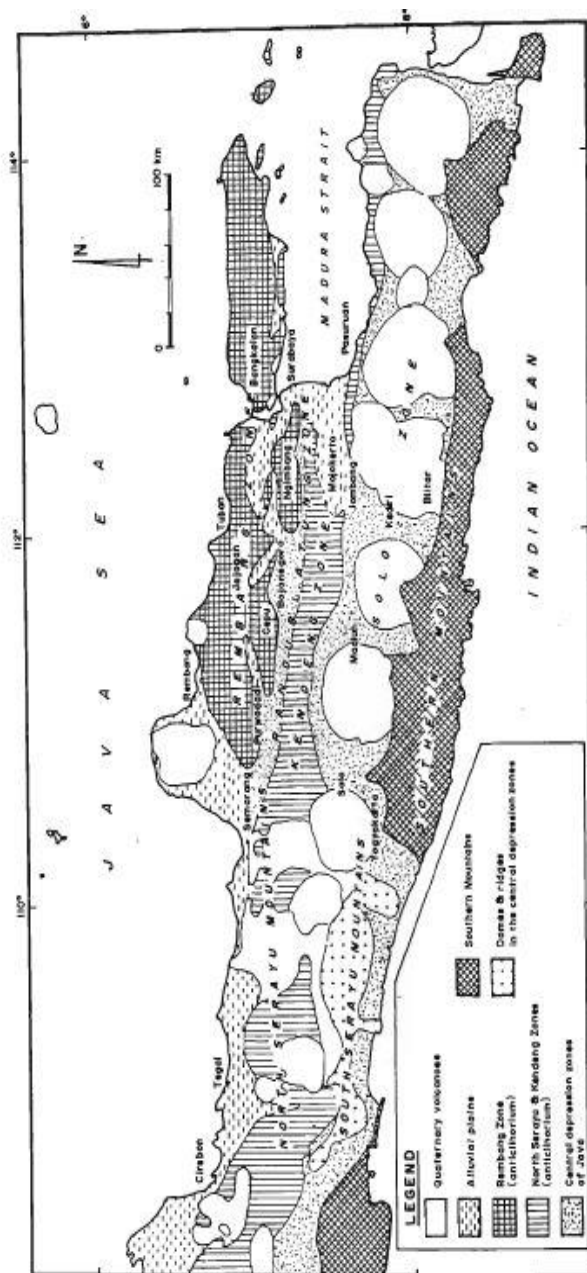
Legenda

- Lokasi Penelitian
- Laut
- Formasi Lidah (Tpl)
- Formasi Kabuh (QPk)
- Formasi Pucangan (QTp)
- Alluvium (Qa)



	<p>Coordinate System: GCS WGS 1984 Datum: WGS 1984 Units: Degree</p>	<p>Sumber : Supandjono, J.B., K.Hasan, H. Panggabean, D.Satria dan Sukardi, (1992). 'Peta Geologi Lembang Surabaya & Sapulu' Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi</p>

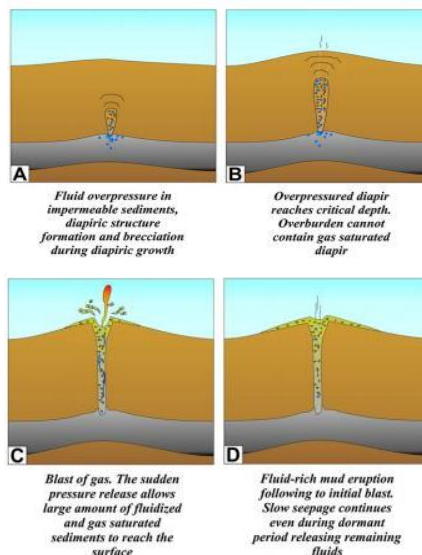
Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Gunung Lumpur Sedati-Kabupaten Sidoarjo(Supandjono, J.B., K. Hasan, H. Panggabean, D. Satrio dan Sukadi, 1992)



Gambar 2.2 Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur oleh Van Bemmelen (Susilohadi, 1995)

Satyana dan Asnidar (2008) gunung lumpur juga diidentikkan dengan intrusi material yang relatif mudah bergerak akibat gaya apungan (*buoyancy*) pada suatu struktur plastis yang belum terkompaksi sempurna dengan perbedaan tekanan tinggi dan mencapai permukaan. Secara ilustratif, pembentukan gunung lumpur dapat dilihat pada gambar 2.4. Adapun material tersebut terkadang bersifat plastis maupun cair dengan komponen kimiawi campuran mineral dan gas yang khas (mengandung senyawa garam dan hidrokarbon). (Burhanuddinnur, 2016)

Gunung lumpur Sedati merupakan salah satu dari 14 gunung lumpur di daerah Jawa Timur (Amelinda, 2016). Gunung lumpur Sedati terletak di desa Buncitan, Kecamatan Sedatin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Berdasarkan Kusumastuti dalam Mazzini (Mazzini, Etiope dan Svensen, 2012) gunung lumpur ini berada pada busur belakang cekungan Jawa Timur sebelah timur laut berusia tersier. Akibat letak tersebut, gunung lumpur memiliki kedekatan terhadap struktur tektonik aktif. Salah satu buktinya ditunjukkan pada gambar 2.1 B, dimana gunung lumpur Sedati berada pada sisi timur patahan Watu Kosek. Fakta ini juga diperkuat dengan hasil penelitian (Bahri dan Syaifuddin, 2015) yang menyatakan bahwa gunung lumpur di Gunung Anyar berada di sisi barat ujung patahan. Selain itu, lokasinya yang berada pada dataran delta Sidoarjo, memberikan karakteristik sekuen sedimentasi yang tinggi kadar organik depositnya. Adapun keberadaan gunung lumpur disebabkan karena adanya aktivitas seismik yang cukup intens sehingga memicu keluarnya fluida bertekanan tinggi yang berasal dari turunan hidrokarbon illitisasi lempung di kedalaman bawah permukaan. (Mazzini dkk., 2012)



Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Terbentuknya Gunung Lumpur Secara Umum (Mazzini dkk., 2009)

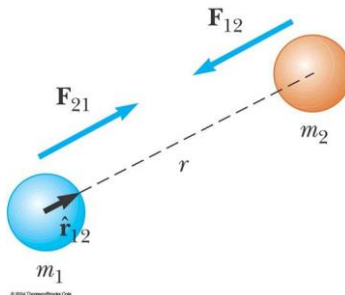
2.3 Metode Gaya Berat

Metode gaya berat merupakan suatu metode yang melibatkan pengukuran variasi medan gravitasi bumi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan bawah permukaan. Daerah di bawah permukaan yang memiliki densitas berbeda dari sekitarnya menyebabkan penyimpangan nilai gravitasi yang dikenal sebagai anomali gravitasi. Beberapa penyebab adanya anomali gravitasi dan kontras densitas batuan bawah permukaan antara lain: pengendapan mineral, alterasi hidrotermal, patahan, intrusi batuan, variasi porositas dan sebagainya.

Tujuan dari survei gaya berat adalah mencari dan menggambarkan struktur bawah permukaan berdasarkan efek gravitasi yang disebabkan oleh densitas anomalnya. Perubahan gravitasi yang disebabkan oleh struktur bawah permukaan sangat kecil, sehingga untuk mengukur perubahan tersebut diperlukan alat ukur yang memiliki sensitivitas sangat tinggi. Alat ukur yang umumnya digunakan adalah gravimeter yang memiliki akurasi 0.01 mGal. Gravimeter tidak memberikan hasil pengukuran gravitasi secara langsung. Pembacaan masih harus dikalikan dengan faktor kalibrasi alat untuk menghasilkan nilai gravitasi observasi. Sebelum hasil survei dapat diinterpretasi, data mentah pengukuran harus dikoreksi dengan datum *mean sea level*. Proses koreksi ini dikenal sebagai reduksi data gravitasi (Reynold J. M., 1997).

2.4 Hukum Newton tentang Gravitasi

Teori gravitasi didasarkan oleh hukum Newton tentang gravitasi. Hukum gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut. Hukum gravitasi Newton (Gambar 2.5):



Gambar 2.5 Gaya tarik menarik merarik antara dua benda m_1 dan m_2 (Reynold J. M., 1997).

$$F^-(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

dengan:

F = gaya tarik menarik (Newton)

G = konstanta universal gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

m₁ = massa benda 1 (kg)

m₂ = massa benda 2 (kg)

r = jarak antar pusat massa (m)

Untuk gaya gravitasi antara benda bermassa m dengan bumi bermassa M, adalah:

$$F = G \frac{m M}{r^2} \quad (2.2)$$

karena jarak benda ke permukaan bumi sangat kecil, maka nilai r sebanding dengan nilai jari-jari bumi (R), sehingga persamaan (2.2) menjadi:

$$F = G \frac{m M}{r^2} \quad (2.3)$$

(Reynolds, 1997).

2.5 Percepatan Gravitasi

Percepatan gravitasi dalam pengukuran gaya berat yang diukur bukan gaya gravitasi F, melainkan percepatan gravitasi (g). Hubungan antara keduanya dijelaskan oleh hukum Newton II yang menyatakan bahwa sebuah gaya adalah hasil perkalian dari massa dengan percepatan. Hukum Newton mengenai gerak Newton, yaitu:

$$F = m \cdot g \quad (2.4)$$

Interaksi antara bumi (bermassa M) dengan benda di permukaan bumi (bermassa m) sejauh jarak r dari pusat keduanya juga memenuhi hukum tersebut, maka dari persamaan (2.3) dan (2.4) didapatkan:

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (2.5)$$

di mana satuan g adalah m/det² dalam SI, atau Gal (Galileo), yaitu 1 cm/det². Karena pengukuran dilakukan dalam variasi percepatan gravitasi yang begitu kecil, maka satuan yang sering digunakan adalah *miliGal* (mGal).

Persamaan (2.5) menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gravitasi di bumi (g) adalah berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (R). Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (topografi), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran, dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi nilai gravitasi, misalnya bangunan (Telford dkk., 1990).

2.6 Model *Ellipsoid* Bumi

Pada model ini bentuk bumi sudah berupa *ellips* dan juga dipengaruhi oleh sentrifugal akibat rotasi sama seperti model sebelumnya. Hanya saja pada model ini bidang ekuipotensial langsung didefinisikan kedalam bentuk geometris berupa elipsoidal dan memiliki potensial *gravity* total yang konstan dipermukaannya. Bentuk geometris elipsoidal dengan potensial *gravity* total konstan dipermukaan inilah yang disebut *ellipsoid*. Namun, bentuk ini masih belum merupakan bentuk bumi yang sebenarnya karena densitas bumi masih dianggap homogen dan belum memperhitungkan efek topografi pada kerak bumi. *Ellipsoid* adalah *ellips* yang diputar pada sumbu pendeknya (Reynold J. M., 1997).

2.7 Koreksi Data Gravitasi

Dalam memproses data metode *gravity*, terdapat beberapa koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi *noise* yang ditimbulkan. Adapun koreksi tersebut antara lain sebagai berikut.

2.7.1 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi apungan adalah koreksi yang dilakukan akibat adanya perbedaan pembacaan gravitasi oleh alat dari stasiun yang sama pada waktu yang berbeda yang disebabkan oleh adanya guncangan pada pegas alat tersebut selama proses transportasi dari satu stasiun ke stasiun lainnya. Pengaruh tersebut berupa pegas yang semakin meregang terhadap waktu dan suhu. Faktor tersebut akan mempengaruhi pembacaan nilai gravitasi. Untuk mengatasi pengaruh suhu, dipasang *thermostat* pada alat. Dengan demikian alat dapat bekerja konstan pada suhu tertentu, sedangkan untuk pengaruh waktu, dilakukan dengan cara mengukur kembali di titik *base* (*base looping*) untuk mengetahui besar perubahannya. Oleh karena itu, pengukuran gravitasi dilakukan dengan membuat lintasan tertutup (*looping*). Perubahan nilai gravitasi tersebut terhadap waktu dianggap linear. Selisih nilai pengukuran waktu awal dan akhir di titik *base* adalah besar gradien perubahan nilai tiap waktu pengukuran selama waktu *looping*. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung koreksi apungan (Kadir, 2000) adalah :

$$G_{drift} = \frac{g_{akh} - g_0}{t_{akh} - t_0} (t_n - t_0) \quad (2.6)$$

Keterangan:

- gakh* = pembacaan gravimeter akhir
- g0* = pembacaan gravimeter awal
- takh* = waktu pembacaan akhir
- t0* = waktu pembacaan awal
- tn* = waktu pembacaan pada stasiun ke-n

2.7.2 Koreksi Pasang Surut

Koreksi pasang surut disebabkan oleh pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa benda-benda langit seperti bulan dan matahari. Besarnya koreksi ini bervariasi terhadap lintang, waktu, serta kedudukan benda-benda langit (Purnomo dkk., 2013).

$$gst = gs \pm t \quad (2.7)$$

Dimana :

gst = gravitasi terkoreksi pasang surut (*tidal*)

gs = gravitasi pada pembacaan alat

t = nilai koreksi pasang surut (*tidal*)

2.7.3 Gravitasi Observasi (*gobs*)

Nilai *gobs* merupakan nilai gravitasi yang terukur di permukaan. Nilai *gobs* didapatkan dari data pengukuran yang telah terkoreksi pasang surut dan terkoreksi *drift*. Nilai *gobs* berbanding terbalik dengan nilai ketinggian (Purnomo dkk., 2013).

$$G_{Obs} = G_{drift\ pengukuran} - G_{drift\ tawal} + G_{Mutlak} \quad (2.8)$$

2.7.4 Koreksi lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi ini dilakukan karena bentuk bumi yang tidak sepenuhnya bulat sempurna, tetapi tepat pada daerah ekuator dan juga karena rotasi bumi. Hal tersebut membuat adanya perbedaan nilai gravitasi karena pengaruh lintang yang ada di bumi. Secara umum gravitasi terkoreksi lintang dapat ditulis (Kadir, 2000):

$$g(\phi) = 978031,846 (1 + 0,0053024 \sin^2 \phi + 0,0000058 \sin^2 2\phi) \quad (2.9)$$

dimana :

$g(\phi)$ = gravitasi terkoreksi lintang (ϕ = sudut dalam radian)

2.7.5 Koreksi Udara Bebas (*free air correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk mengkompensasi ketinggian antara titik pengamatan dan datum (*mean sea level*). Koreksi ini dapat ditulis (Kadir, 2000):

$$FAC = -0,3086 \times h \quad (2.10)$$

dimana :

FAC = koreksi udara bebas

h = ketinggian permukaan dari datum (msl) satuan meter

2.7.6 Koreksi *Bouguer*

Pada koreksi *free air* membawa nilai gravitasi teoritis ke topografi dengan asumsi dari (x, y, 0) menuju (x, y, z) tidak ada apapun (kosong). Padahal sebenarnya antara keduanya terdapat massa. Koreksi *Bouguer* dilakukan untuk menghitung efek massa yang ada antara MSL (*Mean Sea Level*) dengan topografi. Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh adanya massa

dari datum sampai ketinggian titik pengukuran. Koreksi ini dapat ditulis dengan rumus (Purnomo dkk., 2013):

$$BC = 0,04193 \times \rho \times h \quad (2.11)$$

dimana :

BC = koreksi *Bouguer*

ρ = densitas batuan (gr/cc)

h = ketinggian dari permukaan laut (meter)

2.7.7 Koreksi *Bouguer* Sederhana

Anomali *Bouguer* sederhana didefinisikan sebagai berikut :

$$SBA = G_{Obs} - (G_{Lintang} + FAC + BC) \quad (2.12)$$

dengan *SBA* adalah nilai anomali *Bouguer* sederhana, G_{Obs} adalah nilai gravitasi observasi, $G_{Lintang}$ adalah nilai gravitasi terkoreksi lintang, *FAC* adalah nilai *free air correction* dan *BC* adalah koreksi *Bouguer* (Purnomo dkk., 2013).

2.7.8 Koreksi *Terrain*

Kita tahu bahwa pengukuran *gravity* sangat mungkin dilakukan di daerah ketinggian, dimana dari satu titik dengan titik yang lain memiliki ketinggian yang berbeda pula. Adanya massa yang terletak di bawah permukaan antara titik pengamatan pada ketinggian *h* dan bidang *sferoid* sangat mempengaruhi gaya gravitasi oleh karena itu dilakukan koreksi *terrain*. Sebelumnya telah dibahas bagaimana koreksi *Bouguer* sederhana mencakup massa berbentuk *slab* horisontal tak hingga. Dalam koreksi *Bouguer* ini keberadaan massa di atas bidang *Bouguer* dan bagian massa yang hilang di bawah bidang *Bouguer* yakni lembah tidak diperhitungkan. Akibat dari massa ini disebut dengan efek medan (*terrain effect*) dan untuk mengatasinya dilakukan koreksi medan (*terrain*). Sehingga koreksi ini dapat ditulis:

$$TC = G\rho\phi[(r^2 - r^l) + \sqrt{r_1^2 + H^2} - \sqrt{r_2^2 + H^2}] \quad (2.13)$$

Dimana :

G = konstanta gravitasi umum

ρ = densitas batuan

ϕ = sudut sektor (radian)

r1 = jari-jari radius dalam

r2 = jari-jari radius luar

H = beda tinggi titik amat dengan tinggi rata-rata sektor

(Telford dkk., 1990)

2.7.9 Anomali *Bouguer* Lengkap

Anomali *Bouguer* lengkap didapatkan setelah semua data gravitasi direduksi dan nilai gravitasi hanya dipengaruhi oleh densitas bawah permukaannya. Anomali *Bouguer* lengkap didapat setelah terkoreksi medan

yang sebelumnya disebut anomali Bouguer sederhana. Persamaan untuk menentukan anomali Bouguer lengkap sebagai berikut (Purnomo dkk., 2013):

$$CBA = G_{Obs} - (G_{Lintang} + FAC + BC + TC) \quad (2.14)$$

Dimana :

CBA = *Complete Bouguer Anomaly*

G_{Obs} = Gravitasi observasi

$G_{Lintang}$ = Gravitasi hasil koreksi Lintang

FAC = *Free Air Correction*

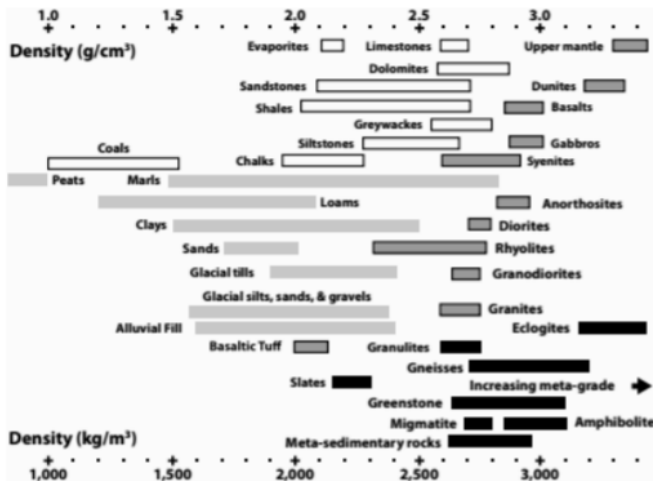
BC = *Bouguer Correction*

TC = *Terrain Correction*

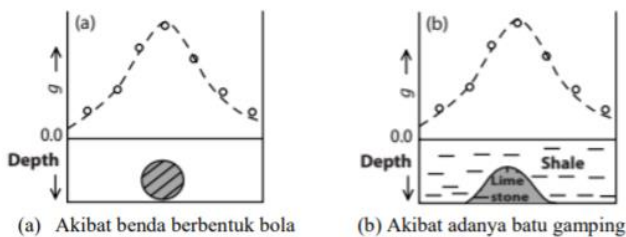
2.8 Densitas Batuan

Dalam metode gaya berat, distribusi parameter fisika yaitu densitas dari material di bawah permukaan bumi berasosiasi dengan kondisi dan struktur geologi di dalam bumi. Hal ini karena nilai percepatan gravitasi terukur di permukaan bumi yang bervariasi dipengaruhi oleh distribusi densitas material (batuan) yang berada di bawah permukaan bumi. Menurut Hinze (2013), nilai densitas setiap batuan dapat dibedakan sesuai dengan jenisnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dengan membandingkan persebaran densitas hasil pengolahan data anomali (dalam penelitian ini anomali residual) dengan nilai densitas referensi (Gambar 2.6), maka kita bisa menginterpretasikan batuan penyusun bawah.

Namun dari hasil pengolahan, data anomali Bouguer yang sama bisa menghasilkan kondisi bawah permukaan penyebab anomali yang berbeda (lihat Gambar 2.7) yang disebut dengan ambiguitas (Grandis, 2009). Hal ini disebabkan karena nilai densitas batuan memiliki nilai rentang yang saling tumpang-tindih antara satu jenis dengan yang lainnya (lihat Gambar 2.6). Kondisi ini akan mempengaruhi keakuratan interpretasi hasil yang akan dilakukan. Oleh karena itu dalam proses interpretasi, nilai densitas yang dihasilkan perlu dikorelasikan dengan informasi geologi yang ada untuk mendapatkan hasil interpretasi yang lebih akurat



Gambar 2.6 Nilai densitas beberapa batuan (Hinze, 2013)



(a) Akibat benda berbentuk bola

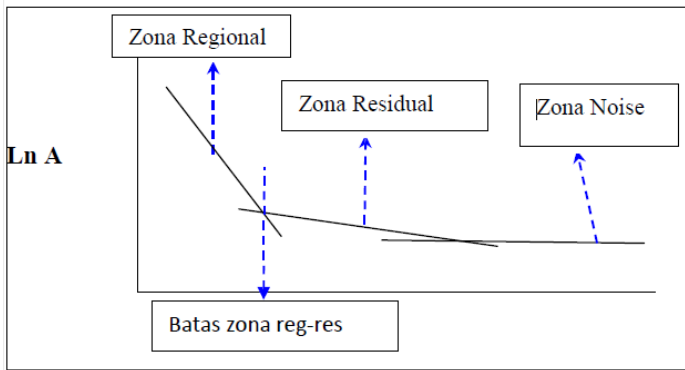
(b) Akibat adanya batu gamping

Gambar 2.7 Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali gaya berat (Hinze, 2013)

2.9 Analisa Spektrum

Data anomali *Bouguer* yang diperoleh merupakan hasil superposisi dari komponen anomali dari berbagai kedalaman. Kedalaman anomali menjadi suatu yang sangat penting dalam tahap interpretasi untuk mengetahui posisi dan jangkauan kedalaman data yang dimiliki. Analisa spektrum merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman dari kedalaman anomali dari sebaran nilai frekuensi dari data anomali *Bouguer*.

Proses analisa spektrum biasanya dilakukan dalam satu dimensi dimana anomali *Bouguer* yang terdistribusi pada penampang *cross section* 1D diekspansi dengan deret *Fourier*. Transformasi *Fourier* dilakukan untuk mengubah data dari domain waktu atau spasial menjadi domain frekuensi atau panjang gelombang. Dengan menganalisis bilangan gelombang (k) dan Amplitudo ($\ln A$) yang telah ditransformasi kita dapat memperkirakan besar kedalaman estimasi anomali regional dan residual serta dapat menentukan jumlah lebar jendela filter dari perhitungan frekuensi *cut off* hasil analisa spektrum (Purnomo, 2013).



Gambar 2.8 Kurva $\ln A$ terhadap k (Purnomo dkk., 2013)

2.10 Upward Continuation

Anomali gaya berat yang terukur di permukaan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan di mana salah satunya merupakan target dari eksplorasi. Sehingga untuk kepentingan interpretasi, target harus dipisahkan dari target lainnya. Jika target adalah anomali residual, maka target lainnya adalah anomali regional dan gangguannya. Secara sederhana, dari segi lebar anomali, *noise* akan memiliki lebar anomali lebih kecil dari target (residual), sedangkan regional lebih besar dari residual berdasarkan kedalaman, *noise* akan lebih dangkal dari residual, sedangkan regional lebih dalam. Anomali regional berasosiasi dengan kondisi geologi umum yang dominan pada daerah penelitian, biasanya dicirikan oleh anomali berfrekuensi rendah. Anomali lokal/residual yang umumnya berfrekuensi tinggi mengandung informasi mengenai sumber anomali dangkal. Penelitian ini mengaplikasikan kontinuitas ke atas (*upward continuation*) dan filter panjang gelombang pada data magnetik sintetik (Effendi, 1990).

Kontinuitas ke atas (*Upward continuation*) merupakan cara untuk menghilangkan anomali lokal. Penentuan ketinggian kontinuitas dilakukan dengan cara *trial and errors* dengan melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuitas. Prinsip dari kontinuitas ke atas adalah bahwa suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut. Kontinuitas ke atas dilakukan dengan mentransformasi medan potensial yang diukur di permukaan tertentu ke medan potensial pada permukaan lainnya yang lebih jauh dari sumber.

Konsep dasar kontinuitas ke atas berasal dari identitas ketiga teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinyu dan mempunyai turunan yang kontinyu di sepanjang daerah R maka nilai U pada suatu titik P di dalam daerah R dapat dinyatakan (Blakely, 1995) :

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (2.15)$$

dengan S menunjukkan permukaan daerah R, n menunjukkan arah normal ke luar dan r kecil adalah jarak dari titik P ke suatu titik pada permukaan S. Persamaan (2.15) menggambarkan secara dasar prinsip dari kontinuitas ke atas, di mana suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut. (Blakely, 1995)

2.11 Pemodelan Inversi 3D

Menke (1984) mendefinisikan teori inversi sebagai suatu kesatuan teknik antara metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Pemodelan inversi adalah salah satu teknik pemodelan di mana parameter modelnya diperoleh langsung dari data pengamatan (Zarkasyi dan Suhanto, 2005). Menurut Grandis (2009), pemodelan inversi sering pula disebut sebagai pencocokan data (data *fitting*) karena dalam prosesnya adalah mencari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Respon model dan data pengamatan diharapkan memiliki kesesuaian yang tinggi sehingga akan menghasilkan model yang optimum (Supriyanto, 2007). Pemodelan inversi merupakan fokus kebanyakan atau hampir semua bidang geofisika karena kita dituntut untuk dapat memperkirakan model atau parameter model berdasarkan hasil pengamatan atau pengukuran data lapangan. Salah satu contoh pemodelan inversi yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah memperkirakan model struktur bawah permukaan dalam bentuk persebaran nilai densitas dari data pengukuran metode gaya berat.

Pemodelan struktur bawah permukaan ini dilakukan dengan teknik inversi tiga dimensi (3D). Data gaya berat anomali residual (hasil dari Subbab 2.4) diinversikan menggunakan perangkat lunak *Grablog* 1.6 dari Pirttijarvi (2004) sehingga menghasilkan model penampang densitas berbentuk 3D. Model 3D yang dihasilkan bisa ditampilkan sebagai penampang 2D maupun 3D. Perangkat lunak *Grablog* 1.6 ini menggabungkan dua metode inversi yaitu inversi *Singular Value Decomposition* (SVD) dan inversi Occam (Hjelt, 1992) yang diproses secara berurutan.

Inversi *Singular Value Decomposition* adalah suatu teknik pemfaktoran matriks dengan menguraikan suatu matriks ke dalam dua matriks (Zhao, 2011), sebagai contoh dari matriks A menjadi matriks U dan V. Secara matematis persamaannya (Sugianto dan Rahadinata, 2015) dapat ditulis sebagai:

$$A = U S V^T \quad (2.16)$$

Di mana U adalah matriks ortogonal sebelah kiri, S adalah suatu matriks diagonal, dan V adalah matriks ortogonal sebelah kanan. Perhitungan inversi matriks menggunakan teknik SVD relatif lebih stabil. Dalam penerapan teknik

SVD, nilai singular yang lebih kecil dari harga tertentu dapat diabaikan atau dianggap sama dengan nol sehingga tidak diikutsertakan pada proses perhitungan solusi. Penerapan teknik SVD pada pemodelan inversi (khususnya pada perhitungan matriks) umumnya dapat menghasilkan solusi inversi yang cukup baik (Grandis, 2009).

Inversi Occam adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran (*roughness*) suatu model (Constable dkk., 1987) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|Wd - WGm\|^2 - X^2 \} \quad (2.17)$$

dimana, $\|\delta m\|^2$ merupakan kekasaran (*roughness*), μ^{-1} adalah *Lagrange multiplier*, $\|Wd - WGm\|^2$ adalah *missfit*, dan X^2 adalah *error*.

Pemodelan geofisika ini biasanya bersifat tidak unik atau tidak tunggal (Grandis, 2009), artinya suatu respon anomali bisa dihasilkan oleh beberapa model bawah permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Oleh karena itu, salah satu solusinya adalah penggunaan kedua metode inversi tersebut di atas. Integrasi kedua metode inversi tersebut mampu mengurangi dan menghasilkan nilai *error* (antara data observasi dengan data hasil perhitungan) yang lebih kecil, baik dari sisi nilai densitas maupun dimensinya melalui proses optimasi. Hasil pemodelan 3D kemudian diintegrasikan dengan data geologi sehingga dapat pilih model densitas yang lebih akurat (Parapat dkk., 2016).

2.12 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian yang pernah dilakukan terkait topik penelitian struktur bawah permukaan menggunakan metode gaya berat dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Topik Gunung Lumpur dan Gaya Berat

Nama Peneliti (asal institusi)	Judul Penelitian / Tahun
Alif Prabawa Arwananda, dkk (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)	Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud Volcano / 2017
Alif Prabawa Arwananda, dkk (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)	Efek Patahan Watukosek Pada Geomorfologi Kali Porong Dengan Metode Resistivitas 2D / 2016

Jobit Parapat, dkk (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)	Pemodelan 3d Data Gaya Berat Untuk Mengidentifikasi Sumber Panas Daerah Panas Bumi Sipoholon , Sumatera Utara/2016
Muhammad Burhanuddinur (Universitas Trisakti)	Mud Volcano (Gunung Lumpur) di Cekungan Jawa Timur / 2016
Firman Syaifuddin, dkk (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)	Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Jawa/2016
Kurnia Amelinda S (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)	Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik / 2016

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



3.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian gunung lumpur Sedati yang terletak secara administratif di Desa Buncitan, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, daerah penelitian tugas akhir ini terletak pada koordinat di titik 7°23'59.1"S dan 112°47'21.3"E. Daerah ini berjarak 22 km dari Kota Surabaya dan 17 km dari Kota Sidoarjo.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dengan Citra Satelit

Keterangan :


-  = titik semburan Gunung Lumpur
-  = daerah penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan lokasi penelitian ini merupakan daerah Gunung lumpur memiliki morfologi kubah tidak teratur tersusun oleh kubah-kubah kecil hasil erosi yang bertumpukan. Luas area gunung lumpur ini mencapai 2,25 ha. Gunung lumpur ini berada di tengah pemukiman serta terletak 5 km dari barat bibir pantai. Daerah penyelidikan yang menjadi fokus penelitian Tugas Akhir ini memiliki ukuran sekitar 500 m (ke arah timur) x 400 m (ke arah utara).

3.2 Desain Akusisi Data Gaya berat



Gambar 3.2 Desain Akusisi Gaya berat

Keterangan :  = titik pengukuran

Gambar 3.2 merupakan desain akusisi data gaya berat ini dilakukan di Desa Buncitan, Kecamatan Sedati, yang terdiri dari 99 titik pengukuran yang menyebar di area sekitar gunung lumpur dengan spasi 50 meter. Pengambilan data gaya berat dilakukan dengan 3 kali pengulangan pengukuran di setiap titik untuk mendapatkan data yang akurat. Data berikut merupakan koordinat titik terluar dari wilayah pengukuran penelitian (tabel 3.1) dan titik semburan gunung lumpur(tabel 3.2) :

Tabel 3.1 Data Koordinat Titik Terluar

Titik	Koordinat (<i>easting</i>) UTM	Koordinat (<i>Northing</i>) UTM
1	697271.62	9181922.1
2	697762.17	9181812.84
3	697206.89	9181528.5
4	697665.06	9181523.23

Tabel 3.2 Data Koordinat Titik Semburan

Lokasi	Koordinat (<i>easting</i>) UTM	Koordinat (<i>Northing</i>) UTM
Semburan	697463.55	9181683.20

3.3 Data dan Peralatan

Data-data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

1. Data bacaan alat gravimeter di daerah Gunung Lumpur Sedati

Data bacaan alat gravimeter ini adalah data hasil pengukuran di lapangan penelitian tugas akhir yang di ukur pada tanggal 7-11 April 2018. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran yakni sebanyak 88 stasiun pengukuran gaya berat dengan spasi 50 m menggunakan alat gravimeter *LaCoste & Romberg G-1118*. Persebaran titik pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan data ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.

2. Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu

Peta geologi yang digunakan adalah Peta Geologi yang dibuat oleh PSDG pada tahun 1992 (lihat Gambar 2.2)

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Alat Penelitian

Metode	Alat yang digunakan
Gaya berat	1 Gravimeter <i>LaCoste & Romberg G-1118</i>
	1 GPS <i>Trimble Navigation 4600 LS Geodetic System Surveyor Single Frequency</i>
	1 Jam Tangan
	1 Kompas
	1 Payung
	Tabel <i>Hammer Chart</i> dan Tabel Pasang Surut

Peralatan dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

1. Komputer/Laptop

Komputer ini digunakan untuk melakukan semua proses pengerjaan Tugas Akhir. Komputer ini dilengkapi dengan perangkat-perangkat lunak yang dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir seperti yang akan dijelaskan di bawah ini.

2. Microsoft Office Excel 2016

Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan perhitungan koreksi-koreksi yang digunakan dalam pengolahan data gaya berat dan juga untuk mempersiapkan semua data dan hasil dalam bentuk tabel dan grafik.

3. Oasis Montaj 6.4.2

Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan koreksi *terrain*, dan juga untuk menghasilkan peta CBA dan melakukan pemisahan peta anomali bouguer regional dan peta anomali residual dengan filter *upward continuation*.

4. Surfer 11

Perangkat lunak ini digunakan dalam *gridding* dan pembuatan peta yang dibutuhkan. Perangkat lunak ini juga digunakan untuk *Create file .dat* yang digunakan sebagai data *input* ke perangkat lunak *Grablox*.

5. *Boxler 1.6*

Perangkat lunak ini digunakan untuk menampilkan dan mengedit hasil pemodelan, yang dihasilkan dari program *Grablox*, dalam bentuk 2D maupun 3D. Perangkat lunak ini merupakan program open source yang dibuat oleh Pirttijarvi (2004) yang bisa didapatkan di laman websitenya Markku Pirttijarvi yaitu <https://wiki oulu.fi/pages/>.

6. *Grablox*

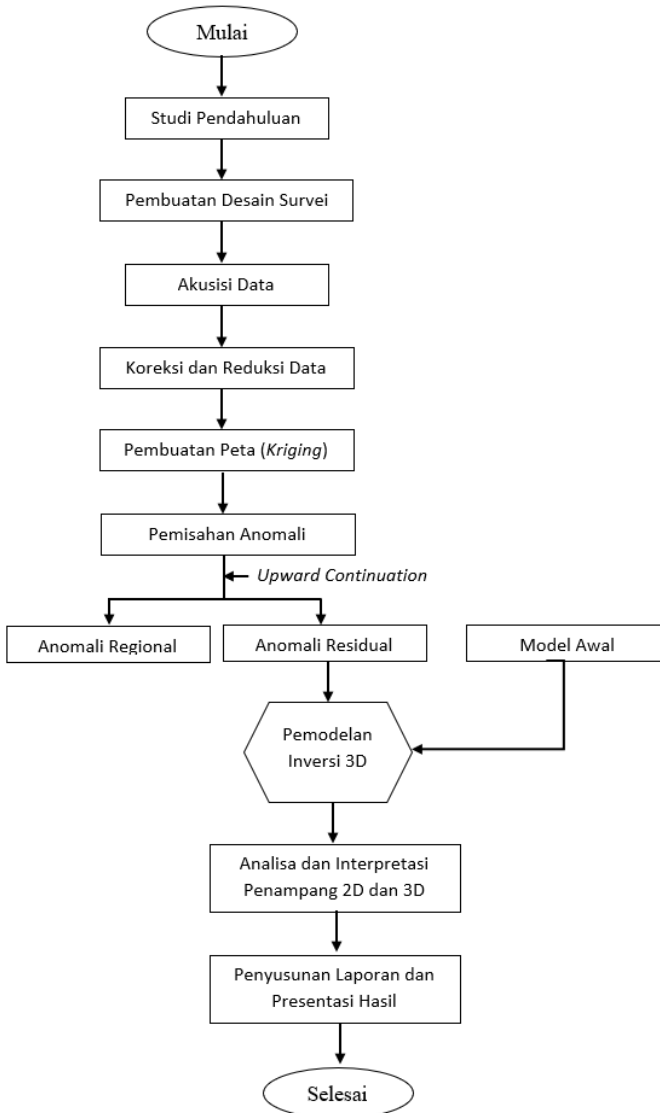
Perangkat lunak ini digunakan dalam pengolahan data baik pembuatan model awal dan proses inversi. Perangkat lunak ini merupakan program *open source* yang dibuat oleh Pirttijarvi (2004) dengan menggabungkan 2 (dua) metode inversi yaitu *Singular Value Decomposition* dan inversi Occam (Hjelt, 1992), yang bisa didapatkan secara bebas dan gratis di laman *website*-nya Markku Pirttijarvi (University of Oulu) yaitu <https://wiki oulu.fi/pages/>. Adapun cara pengolahan data (proses inversi) menggunakan perangkat lunak ini dijelaskan pada Subbab 3.6.

7. Microsoft Office Word 2016

Perangkat lunak ini digunakan dalam penulisan laporan penelitian Tugas Akhir ini secara lengkap.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis dan terstruktur dan metode secara garis besar metode penelitian yang akan dilakukan dijelaskan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.4 Diagram Alir *Processing* data

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur pengerjaan penelitian Tugas Akhir (Gambar 3.4) ini adalah sebagai berikut. Penelitian ini dimulai dengan tahap pendahuluan, pada tahap pendahuluan ini meliputi studi literatur untuk membantu penulis dalam memfokuskan permasalahan yang ingin dipecahkan dengan menggunakan metode yang telah dipilih sehingga menghasilkan kesimpulan yang dapat dipertanggung-jawabkan. Dari studi literatur ini didapatkan kerangka konsep penelitian yang dilakukan, data yang diperlukan, informasi tentang teknik pengambilan, teknik pengolahan dan teknik analisis data. Pada tahapan ini juga dilakukan pembuatan desain akusisi data gaya berat yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data data yang dibutuhkan seperti pada subbab 3.3, baik data geofisika maupun data geologi. Adapun data yang dihasilkan sudah dijelaskan pada subbab 3.3.

Pada penelitian ini, pemisahan anomali dilakukan menggunakan filter *Upward Continuation*. Pemisahan anomali ini dilakukan dengan perangkat lunak Oasis Montaj. Dari pemisahan ini, *output* yang dihasilkan adalah data anomali regional dan anomali residual. Data yang dipakai dalam proses pemodelan adalah data anomali residual. Anomali residual ini kemudian dibuat menjadi peta kontur menggunakan perangkat lunak surfer 11 sehingga hasilnya ditampilkan pada gambar 4.3 kemudian anomali residual ini dimodelkan secara 3 dimensi untuk menghasilkan model sebaran densitas bawah permukaan daerah penelitian.

Pemodelan inversi 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Grablox 1.6 dengan data *input*-an berupa data anomali residual yang di susun dalam format file (*.dat). Sebelum melakukan proses inversi, dilakukan pembangunan model awal (*.inp) yang bertujuan membuat blok-blok yang akan mengandung nilai densitas dari hasil inversi. Setelah dilakukan proses inversi maka didapatkan hasil berupa model sayatan penampang densitas secara 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Penampang 2D adalah sayatan model yang tegak lurus terhadap sumbu X dan Y. Model 3D yaitu sayatan model yang tegak lurus terhadap sumbu Z (berdasarkan kedalaman) dan tampilan model keseluruhan dalam blok mayor. Untuk menampilkan dan melakukan proses *editing* pada hasil pemodelan, dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Bloxer* 1.6. Model yang akan ditampilkan pada *Bloxer* 1.6 ini memiliki format (*.inp) yang merupakan hasil akhir inversi pada perangkat lunak *Grablox* 1.6. Kemudian kedua jenis penampang ini (2D dan 3D) diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif.

Interpretasi secara kualitatif dilakukan terhadap beberapa model penampang 2D yang dianggap cukup mewakili daerah penelitian. Interpretasi ini berupa persebaran nilai densitas yang tinggi dan rendah yang berhubungan dengan target penelitian. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan terhadap model penampang 3D untuk mendapatkan informasi nilai densitas pada kedalaman dan letak tertentu.

3.6 Cara Pengolahan Data

Berikut ini adalah langkah atau cara dalam pengolahan data khususnya dalam proses inversi 3D.

1. Membuat model awal dengan data isian seperti Gambar 3.5. Pada Gambar 3.5 bagian kiri, X-posit adalah posisi awal sumbu X, Y-posit adalah posisi awal sumbu Y, Z-posit adalah posisi awal sumbu Y, X-size adalah panjang sumbu X, Y-size adalah panjang sumbu Y, Z-size adalah panjang sumbu Z, X-divis adalah banyaknya blok yang membagi sumbu X, Y-divis adalah banyaknya blok yang membagi sumbu Y, Z-divis adalah banyaknya blok yang membagi sumbu Z, Bg dens. adalah densitas yang digunakan pada perhitungan anomali Bouguer, sedangkan Param. adalah densitas rata-rata kerak bumi. Pada Gambar 3.5 bagian kanan, X-step adalah panjang blok minor pada sumbu X, Y-step adalah panjang blok minor pada sumbu Y, X-start adalah posisi awal sumbu X, Y-start adalah posisi awal sumbu Y, X-ending adalah posisi akhir sumbu X, Y-ending adalah posisi akhir sumbu Y, sedangkan Z-level adalah posisi permukaan sumbu Z.

X-posit	697.21
Y-posit	9181.44
Z-posit	0
X-size	0.56
Y-size	0.49
Z-size	1
X-divis	22
Y-divis	22
Z-divis	20
Density:	
Bg dens.	2.3
Param.	2.67

Data area:	
X-step	0.01
Y-step	0.009985
X-start	697.21
Y-start	9181.44
X-ending	697.77
Y-ending	9181.93
Z-level	0

Gambar 3.5 Parameter Model Awal

2. Model awal disimpan dalam format *.inp dengan nama tertentu. Jika model ini dibuka pada perangkat lunak *Grablox* atau *Bloxer* maka dihasilkan tampilan seperti pada Gambar 4.4.

3. Data anomali residual yang sudah didapatkan dari proses *filtering* dikonversi ke dalam format *.dat dengan isian seperti pada Gambar 3.6.

```
"GRA_Residual"
2850    1      2      0      3      0
697.21  9181.44  0.071025848388672
697.22  9181.44  0.10424423217773
697.23  9181.44  0.12448310852051
697.24  9181.44  0.12668418884277
697.25  9181.44  0.11034774780273
697.26  9181.44  0.079370498657227
697.27  9181.44  0.03980251269531
697.28  9181.44  -0.0053024291992188
697.29  9181.44  -0.051942825317383
697.3   9181.44  -0.096323013305664
697.31  9181.44  -0.13713073730469
697.32  9181.44  -0.17262840270996
697.33  9181.44  -0.19286918640137
697.34  9181.44  -0.18095016479492
697.35  9181.44  -0.13924598693848
697.36  9181.44  -0.085018157958984
697.37  9181.44  -0.030961990356445
```

Gambar 3.6 Contoh data anomali residual dalam format*.dat

Keterangan:

Baris 1 kolom 1	: nama file *.dat yang akan kita buat (harus sama dengan nama model format *.inp)
Baris 3 kolom 1	: banyak data residual hasil <i>filtering</i> dari anomali Bouguer (bisa dilihat pada <i>grid</i> 30 info ketika dibuka di Surfer 11)
Baris 3 kolom 2	: indeks kolom koordinat X (timur)
Baris 3 kolom 3	: indeks kolom koordinat Y (utara)
Baris 3 kolom 4	: indeks kolom koordinat Z (topografi)
Baris 3 kolom 5	: indeks kolom data residual
Baris 3 kolom 6	: menunjukkan tidak ada medan regional
Kolom 1 (baris 5, dst)	: koordinat X dalam UTM (satuan km)
Kolom 2 (baris 5, dst)	: koordinat Y dalam UTM (satuan km)
Kolom 3 (baris 5, dst)	: nilai anomali residual (satuan mgal)

4. Kemudian model awal format *.inp dibuka di perangkat lunak *Grablog*.

5. Data residual format *.dat di-input ke dalam model awal.

6. Parameter densitas model yang akan dihasilkan diubah rentangnya menjadi 1,8 – 3,00 gr/cm³, sesuai dengan rentang nilai densitas batuan yang menjadi target penelitian.

7. Data ini diproses dengan mengklik tombol *Compute* yang dimulai dengan jenis optimasi *Base* (gambar 4.5). Pada saat ini proses inversi sudah dimulai.

8. Setelah proses optimasi *Base* selesai, kemudian meng-klik tombol *Optimize* secara terus menerus hingga nilai RMS-nya tidak berubah lagi sehingga dihasilkan model seperti pada Gambar 4.5.

9. Selanjutnya dilakukan optimasi *Density*, *Occam d*, *Height*, dan *Occam h* secara berurutan dan bergantian sehingga dihasilkan model seperti pada Gambar 4.6 dan Lampiran 3.

10. Kemudian model ini disimpan dengan nama berbeda dari model awal dan dalam format *.inp.

11. Model yang sudah disimpan kemudian dibuka pada perangkat lunak *Bloxer* untuk menampilkan hasil sayatan penampang 2D dan juga model 3D-nya.

12. Pada perangkat lunak *Bloxer*, model dapat diedit sesuai keinginan untuk memberikan tampilan yang lebih baik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Pengukuran

Pada penelitian ini digunakan gravimeter *Lacoste & Romberg* G-1053 untuk mendapatkan data gaya berat sebanyak 88 titik pada desain akusisi pengukuran yang tersebar di sekitar wilayah penelitian. Pada penelitian ini digunakan titik BM ITS01 sebagai *base* stasiun yang diketahui nilai gaya berat absolutnya dengan nilai 978108.2748 mGal. Dari pengukuran di lapangan yang dilaksanakan di daerah penelitian didapatkan 88 titik pengukuran gaya berat dengan persebaran titik seperti pada gambar 3.2. Pengukuran data gaya berat di 88 titik ini dilakukan selama 3 hari, yakni 7-9 April 2018.

Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan gaya berat bacaan di *base* stasiun (BM ITS01) , yakni 1717,6 sedangkan untuk di daerah penelitian didapat rentang nilai gaya berat bacaan sekitar 1696,5-1698,3 dan data lengkap dapat dilihat pada lampiran 2 pada tabel 1. Dari proses pengukuran, pembacaan alat gravimeter dibaca sebanyak 3 kali pengulangan untuk mengetahui tingkat presisi nilai bacaan. Bacaan alat yang digunakan adalah bacaan alat rerata, hal ini dilakukan karena nilai dari 3 kali pengulangan tidak berbeda jauh dan memiliki tren yang mirip.

Data yang telah terkumpul dari hasil pengukuran di lapangan, data hasil bacaan gravimeter yang didapatkan kemudian dilakukan konversi data bacaan ke data dengan satuan miligal sesuai dengan panduan dan setingan alat yang digunakan (lampiran 1 pada gambar 5). Data hasil konversi sudah dalam satuan miligal kemudian dijadikan data awal dalam pengolahan data selanjutnya yakni koreksi dan reduksi data untuk mendapatkan nilai anomali bouguer.

4.2 Data Anomali Bouguer

Data gaya berat pada daerah penelitian ini dihasilkan dari 88 titik stasiun pengukuran seperti pada gambar 3.2. Persebaran stasiun pengukuran gaya berat lebih di fokuskan pada daerah sekitar pusat semburan gunung lumpur yang berada di tengah daerah penelitian. Pada bagian tengah daerah penelitian terdapat semburan lumpur yang cukup besar, sedangkan di pada arah Selatan dan Barat-daya daerah penelitian tersebar semburan lumpur yang kecil. Desain akusisi data gaya berat ini memiliki spasi 50 meter yang terdiri dari 9 lintasan berarah Barat-Timur.

Data gaya berat yang telah didapat dari hasil pengukuran di daerah penelitian yang menggunakan alat gravimeter *LaCoste & Romberg*., yakni koreksi yang umum digunakan. kemudian dilakukan proses koreksi atau reduksi data yang bertujuan untuk data yang dimasukkan dalam proses selanjutnya bebas dari data *noise*. Koreksi yang dilakukan adalah koreksi umum seperti koreksi *tidal*, koreksi *drift*, koreksi *free air*, koreksi lintang dan koreksi Bouguer. Adapun hasil dari koreksi atau reduksi data yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran 2 pada tabel 1.

Setelah data koreksi bouguer lengkap didapatkan, data anomali bouguer lengkap akan ditampilkan dalam peta kontur menggunakan perangkat lunak Surfer 11 dengan interpolasi metode krigging, sehingga didapatkan peta anomali bouguer seperti pada gambar 4.1. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa peta anomali Bouguer di daerah gunung lumpur sedati memiliki rentang nilai antara -55 mgal sampai 65 mgal dengan spasi kontur 5 mgal. Anomali Bouguer ini memperlihatkan anomali negatif dan dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu anomali: tinggi, sedang, dan rendah (Djudjun, 2005).

Pertama, anomali tinggi ini memiliki rentang nilai antara 30 mgal sampai 65 mgal. Anomali ini tersebar di arah Barat-Laut daerah penelitian dan terdapat juga di lintasan 1 dan lintasan 2 pada arah Barat sampai arah Timur Laut. Lintasan 1 dan lintasan 2 merupakan daerah Politeknik Perikanan dan Kelautan Sidoarjo, yang di daerah tersebut sudah dipenuhi dengan bangunan bangunan bertingkat.

Kedua, anomali sedang memiliki nilai rentang antara 35 sampai -15 mgal. Anomali ini cukup luas tersebar daerah penelitian, yakni pada lintasan 3, lintasan 4, daerah Timur lintasan 5 dan lintasan 6, kemudian tersebar di hampir semua daerah di Tenggara sampai Barat Daya daerah penelitian yang mencakup lintasan 7, lintasan 8 sampai lintasan 9.

Ketiga, anomali rendah ini memiliki rentang nilai antara -10 mgal sampai -55 mgal. Anomali ini tersebar di tengah wilayah penelitian yang berada di lintasan 5 dan lintasan 6 dengan arah Timur-Barat. Anomali ini terpusat dari tengah menuju arah Barat, di daerah ini terdapat semburan kecil sampai cukup besar.

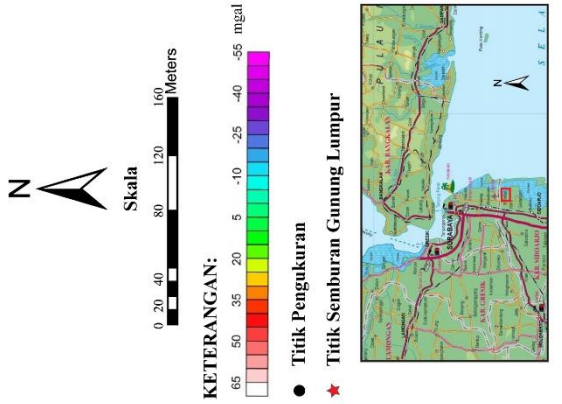
Secara umum, pola anomali Bouguer ini memperlihatkan terdapat perubahan nilai yang signifikan antara daerah anomali sekitar gunung lumpur dengan daerah gunung lumpur yang memiliki nilai anomali yang rendah. Sedangkan di daerah sekitar gunung lumpur terdapat batuan sedimen yang tersebar hampir di semua daerah penelitian yang dapat ditunjukkan oleh anomali sedang. Daerah yang memiliki nilai anomali rendah ini menunjukkan zona lemah yang dimana terdapat pusat semburan gunung lumpur yang menjorok ke arah barat.

4.3 Hasil Pemisahan Anomali

Anomali Bouguer yang sudah didapatkan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan yaitu anomali regional dan anomali residual (Hinze dkk., 2013). Sehingga untuk kepentingan interpretasi target yang sudah ditentukan, maka anomali tersebut perlu dipisahkan (Setianingsih dkk., 2013). Pada penelitian ini, pemisahan anomali dilakukan menggunakan filter *Upward Continuation* yang telah dijelaskan pada subbab 2.9 dengan menggunakan aplikasi Oasis Montaj. Hasil langsung dari *Upward Continuation* adalah peta anomali regional (Lampiran 2 pada gambar 5), sehingga dilakukan pengurangan antara peta anomali regional dengan peta anomali bouguer lengkap untuk mendapatkan peta anomali residual

**PETA ANOMALI BOUGUER LENGKAP
DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI
KAB. SIDOARJO**

Oleh :
BENZAMIN IKKIAN SILITONGA
03411440000021



Gambar 4.1 Peta Anomali Bouguer daerah Gunung Lumpur Sedati

daerah penelitian.

Anomali residual merupakan anomali lokal yang dipengaruhi oleh sumber-sumber anomali gravitasi yang berada pada posisi dangkal. Anomali residual ini ditampilkan dalam peta kontur menggunakan perangkat lunak Surfer 11 dengan interpolasi menggunakan metode *Kriging*, sehingga dihasilkan peta anomali residual seperti pada gambar 4.2. Dari nilai anomali residual yang didapat memperlihatkan anomali negatif yang dapat disebabkan oleh adanya keberadaan lumpur. Dari peta anomali residual, kemudian dibagi menjadi 3 kelompok nilai anomali rendah, sedang dan tinggi.

Pada anomali rendah rendah ini memiliki rentang nilai antara -10 mgal sampai -55 mgal. Anomali ini tersebar di tengah wilayah penelitian yang berada di lintasan 5 dan lintasan 6 dengan arah Timur-Barat. Anomali ini terpusat dari tengah menuju arah Barat, di daerah ini terdapat semburan kecil sampai cukup besar. Rendahnya nilai anomali di daerah ini dapat disebabkan oleh kandungan garam yang sangat tinggi yang terkandung dalam lumpur. Anomali rendah ini juga biasanya juga muncul pada daerah *salt dome*, semakin dekat *salt dome* ke permukaan, maka semakin rendah anomali yang akan terukur, dan begitu sebaliknya.

Kedua, anomali sedang memiliki nilai rentang antara 20 sampai -10 mgal. Anomali ini cukup luas tersebar daerah penelitian, yakni pada lintasan 3, lintasan 4, daerah timur lintasan 5 dan lintasan 6, kemudian tersebar di hampir semua daerah di Tenggara sampai Barat Daya daerah penelitian yang mencakup lintasan 7, lintasan 8 sampai lintasan 9. Rentang nilai ini merupakan nilai yang hampir tersebar di seluruh wilayah penelitian, yang mengindikasikan adanya batuan lokal yang tersebar di hampir semua lokasi wilayah penelitian.

Ketiga, anomali tinggi ini memiliki rentang nilai antara 30 mgal sampai 65 mgal. Anomali ini tersebar di arah Barat Laut daerah penelitian dan terdapat juga di lintasan 1 dan lintasan 2 pada arah barat sampai arah Timur Laut. Lintasan 1 dan lintasan 2 merupakan daerah Politeknik Perikanan dan Kelautan Sidoarjo, yang di daerah tersebut sudah dipenuhi dengan bangunan bangunan bertingkat.

Dalam tugas akhir ini, data anomali residual yang telah didapat yang akan digunakan pemodelan inversi 3D sebagai data masukan seperti yang dijelaskan pada Subbab 3.6 untuk mendapatkan model bawah permukaan daerah penelitian. Anomali residual digunakan untuk data awal pemodelan inversi 3D karena anomali residual lebih dapat merepresentasikan target penelitian gunung lumpur yang pada umumnya terdapat pada kedalaman dangkal.

4.4 Hasil Pemodelan

4.4.1 Model Awal

Daerah penelitian tugas akhir yang akan dimodelkan memiliki ukuran 500 meter ke arah timur (sumbu X) dan 400 meter ke arah utara (sumbu Y), dan target kedalaman model adalah 600 meter ke arah vertikal (sumbu Z). Panjang sumbu X, Y, dan Z merupakan ukuran model blok mayor (dX, dY, dZ). Model awal yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Grablox* 1.6 mewakili

**PETA ANOMALI RESIDUAL
DAERAH GUNUNG LUMPUR SEDATI
KAB. SIDOARJO**

Oleh :
BENZAMIN IKHLAN SILITONGA
03411440000021

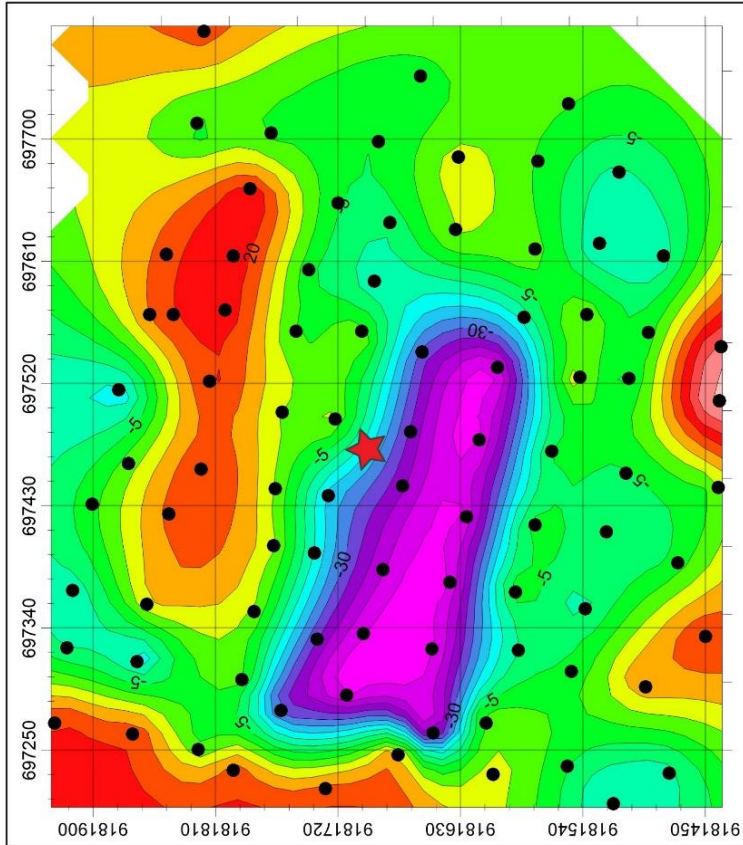
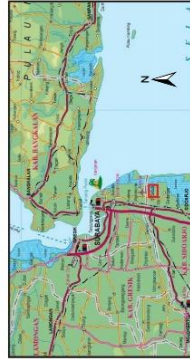


KETERANGAN:



● Titik Pengukuran

★ Titik Semburan Gunung Lumpur



Gambar 4.2 Peta Anomali Residual daerah Gunung Lumpur Sedati

keseluruhan daerah penelitian. Untuk model awal, sumbu X dibagi menjadi 33 blok (nx), sumbu Y menjadi 27 blok (ny), dan sumbu Z menjadi 10 blok (nz) sehingga menghasilkan 8910 blok minor penyusun blok mayor seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 (a) merupakan tampilan sayatan tegak lurus sumbu X yang mewakili 33 sayatan dan menunjukkan bahwa variasi densitas sebagai fungsi kedalaman. Gambar 4.3 (b) merupakan sayatan tegak lurus sumbu Y yang mewakili 27 sayatan dengan informasi densitas dan kedalaman model pada arah melintang. Gambar 4.3 (c) merupakan sayatan tegak lurus sumbu Z yang mewakili 10 sayatan dengan informasi densitas dan kedalaman model pada arah membujur. Gambar 4.3 (d) merupakan tampilan tiga dimensi (3D) model awal menggunakan perangkat lunak *Bloxer* 1.6, di mana blok mayor tersebut terdiri dari 8910 blok minor, yang memberikan informasi bawah permukaan bumi secara keseluruhan dan terlihat lebih nyata dibanding dengan model sayatan.

Proses pembuatan model awal ini dilakukan dengan cara memasukkan parameter koordinat, besarnya blok minor, parameter densitas batuan dan informasi geologi daerah penelitian sehingga didapatkan model yang lebih cocok yang dianggap dapat mewakili model bawah permukaan. Model awal ini kemudian akan dipakai pada proses pemodelan inversi.

4.4.2 Hasil Pemodelan 3D

Dari peta anomali residual yang telah didapat menggunakan filter *Upward Continuation* yang sudah di-grid di surfer 11, didapatkan data hasil interpolasi dengan menggunakan metode krigging sebanyak 1591 titik data. Data tersebut akan digunakan sebagai data masukan (input) pada proses pemodelan 3D. Proses inversi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Grablox* 1.6 dengan data masukan berupa model awal (*.inp) yang telah dibuat pada gambar 4.4 dan data anomali residual yang telah didapat (*.dat). Setelah data masukan telah lengkap maka dilakukan proses komputasi, hasil dari proses komputasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.4.

Dari hasil proses komputasi dihasilkan rentang nilai gravitasi dalam satuan mgal. Hasil komputasi menunjukkan bahwa nilai dari hasil pengukuran tidak berbeda jauh dengan hasil perhitungan (komputasi), yang menunjukkan bahwa kedua model dianggap sesuai. Gambar 4.4 menunjukkan (a) peta persebaran anomali dari hasil pengukuran, (b) peta persebaran anomali dari hasil perhitungan (komputasi), (c) peta persebaran perbedaan nilai anomali antara hasil pengukuran dengan perhitungan, dan (d) kurva perbandingan nilai anomali antara hasil pengukuran dengan perhitungan. Untuk mendapatkan nilai persebaran densitas pada model maka dilakukan proses inversi dengan teknik optimasi yang telah tersedia pada perangkat lunak *grablox* 1.6 .

Ada beberapa tahap optimasi yang dilakukan pada pemodelan inversi penampang densitas 3D yang terdapat pada perangkat lunak *grablox* 1.6, tahapan tersebut secara berurutan dimulai dari optimasi *Base*, *Density*, *Height*, *Occam's density* dan *Occam's height*. Proses optimasi ini dilakukan menggunakan

MODEL AWAL

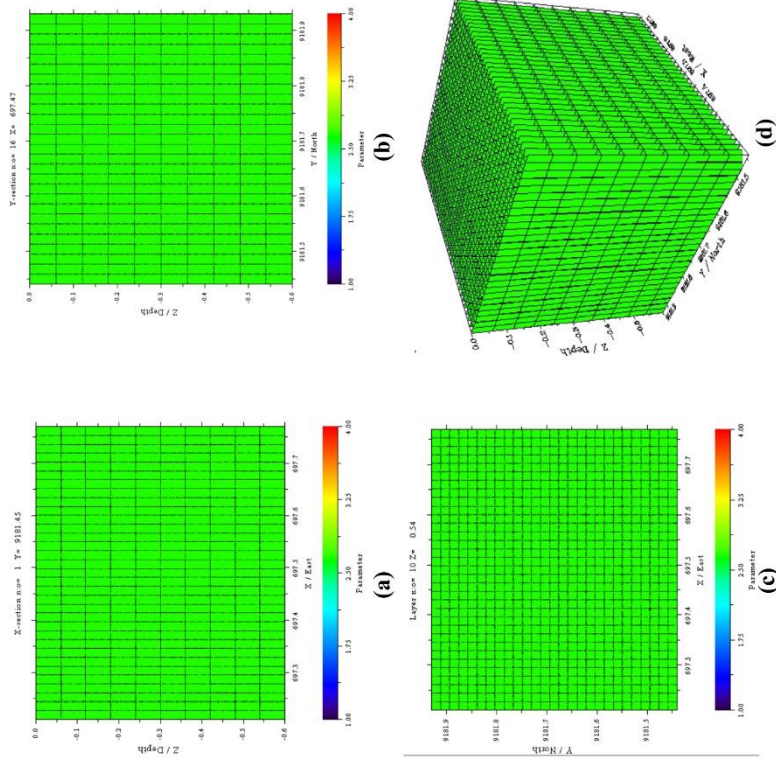
**oleh :
BENZAMIN SILITONGA
0341144000021**

KETERANGAN

- a. Sayatan tegak lurus X
b. Sayatan tegak lurus Y
c. Sayatan tegak lurus Z
d. Tampilan 3D

Perangkat Lunak :

- Grablox 1.6
- Bloxer 1.6



Gambar 4.3 Model Awal menggunakan Grablox 1.6 dan tampilan 3D pada Bloxer 1.6

metode *singular value decomposition* (SVD) dan optimasi *Occam's* (Hjelt, 1992) yang dilakukan dengan cara ber-urutan (tidak boleh acak). Hal ini dikarenakan pada perangkat lunak Grablox 1.6 kedua proses tersebut dilakukan secara bertahap dengan menggunakan persamaan (2.16) dan (2.17). Jika pada optimasi dengan SVD yang menghasilkan nilai data densitas perhitungan (komputasi) dengan data pengukuran belum cocok, maka dilakukan optimasi dengan *occam's* hingga kedua data tersebut memiliki perbedaan kecil sehingga dianggap sesuai antara data pengukuran dengan data perhitungan (komputasi). Proses komputasi ini akan menghitung nilai *error* (antara data pengukuran dengan data hasil perhitungan) di setiap tahap proses optimasi. Proses optimasi yang dilakukan akan membuat nilai *error* semakin kecil di baik dari sisi nilai densitas maupun sisi nilai dimensinya. Nilai *error* (rms) minimum antara keduanya menunjukkan kesesuaian data, sehingga model densitas dari hasil tersebut dianggap sebagai model yang paling optimum.

Setiap proses optimasi yang dilakukan ini memiliki tujuan masing-masing dengan optimasi dasar (Base), densitas (*Density*), Occam densitas (Occam d), ketinggian blok (*Heights*) dan Occam ketinggian blok (Occam h). Optimasi Base bertujuan untuk mengoptimalkan nilai-nilai parameter dasar anomali. Optimasi densitas bertujuan untuk mengoptimasi nilai densitas agar nilai densitas antara data pengukuran dan data perhitungan lebih mendekati atau cocok. Optimasi ketinggian blok bertujuan untuk mendapatkan posisi blok yang memiliki ketinggian yang sesuai. Occam's d dan Occam's h bertujuan untuk memperkecil perbedaan antara kedua data tersebut (densitas dan ketinggian blok), sehingga didapatkan kecocokan antara keduanya (Jusmi, 2016).

Banyaknya jumlah blok minor dan jumlah proses iterasi yang ditentukan akan mempengaruhi ketelitian model, resolusi model, data output dan lamanya proses inversi. Semakin besar jumlah blok minornya, maka hasil pemodelan akan semakin bagus dan resolusi akan semakin tinggi juga, namun dibutuhkan waktu yang semakin lama untuk melakukan proses inversi. Begitu juga dengan jumlah iterasi, semakin banyak proses iterasi maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk proses perhitungannya. Dalam penelitian tugas akhir ini, jumlah blok minor yang digunakan adalah sebanyak 8910 blok minor dengan jumlah iterasi sebanyak 50 iterasi. Hal ini dilakukan karena semakin banyak proses iterasi maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses komputasi.

Dalam pemodelan ini, dibutuhkan waktu inversi berbeda-beda untuk setiap jenis optimasi. Pada optimasi Base dibutuhkan waktu selama 20 detik, optimasi Density selama 8 jam 50 menit, optimasi Occam d selama 1 jam 10 menit, optimasi Height selama 7 jam 24 menit, dan optimasi Occam h selama 1 jam. Dengan demikian, total waktu yang dibutuhkan untuk proses inversi ini adalah selama 18 jam 24 menit 30 detik. Di akhir dari proses optimasi Occam h ini, nilai *error* (rms) model yang dihasilkan yaitu sebesar 1 % dan nilai *error* (rms) data sebesar 4 %. Error yang kecil menyatakan bahwa model densitas yang dihasilkan sudah baik. Hasil akhir optimasi model ditunjukkan pada Gambar 4.4

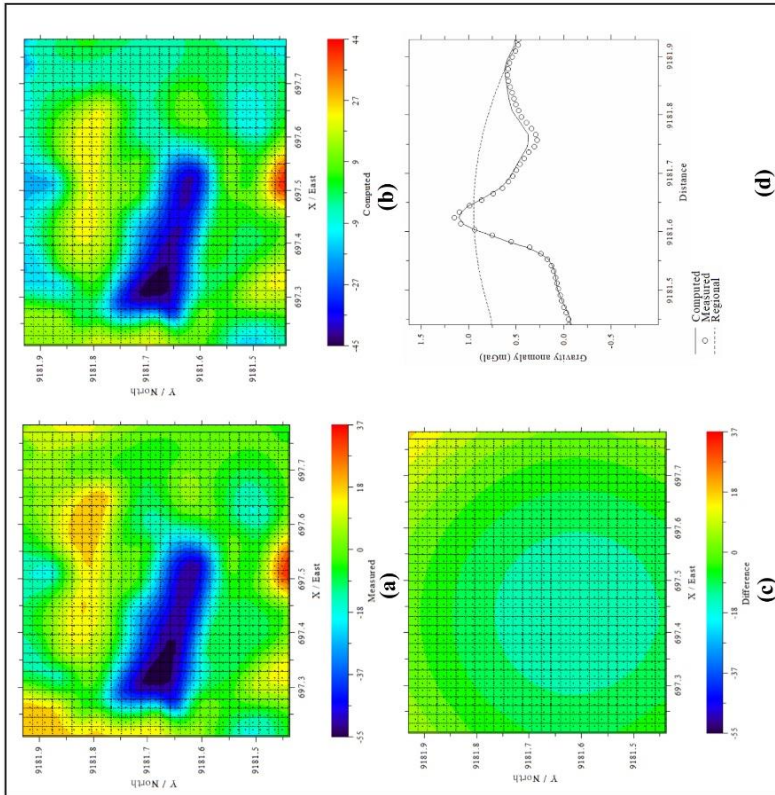
HASIL KOMPUTASI DASAR

oleh :
BENZAMIN SILITONGA
0341144000021

KETERANGAN

- Data Awal Pengukuran
- Hasil Perhitungan
- Perbedaan Nilai Awal
Dengan Nilai Perhitungan
- Kurva Pembanding

Perangkat Lunak :
- Grablox 1.6
- Bloxer 1.6

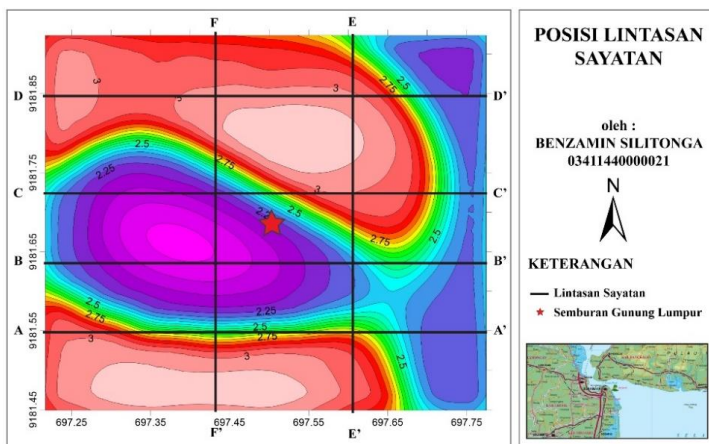


Gambar 4.4 Hasil Komputasi Dasar

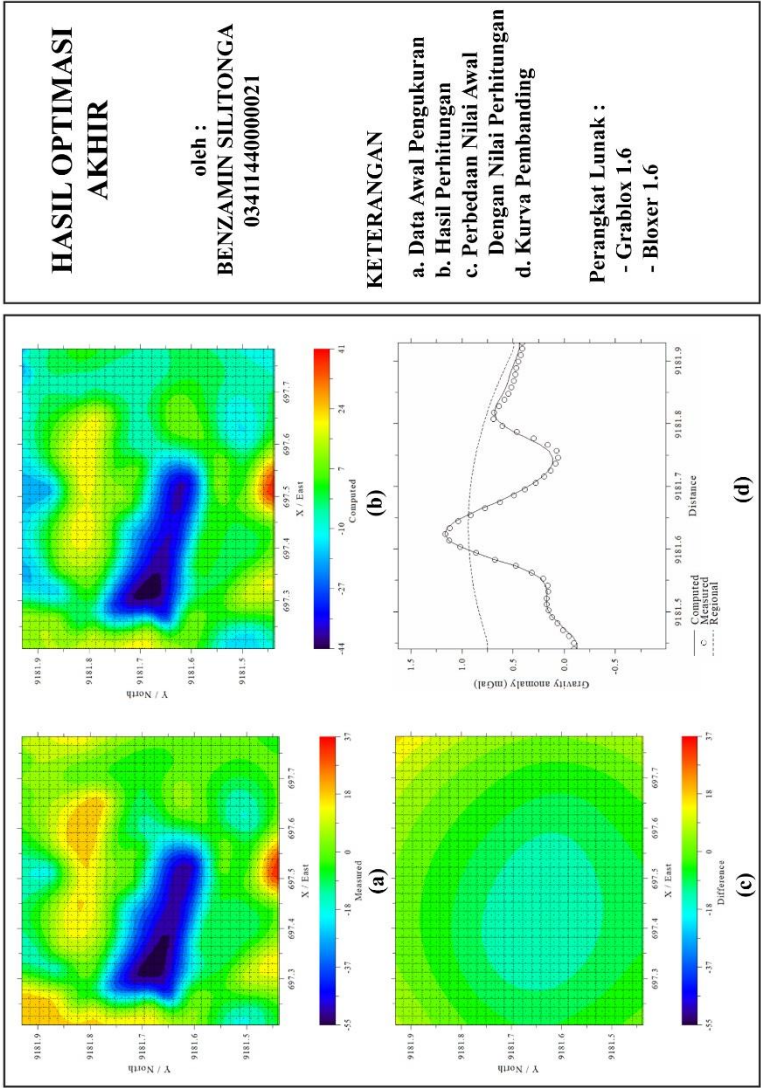
4.5 Interpretasi Penampang Model 2D

Model densitas yang dihasilkan dari proses inversi pada perangkat lunak *grabbox* 1.6 hanya memiliki perpotongan dua arah saja sehingga sayatan model penampang 2D yang dapat dihasilkan hanya secara vertikal (berpotongan sumbu X atau Y) dan Horizontal (berpotongan sumbu Z). Hal ini membuat arah penampang yang akan dianalisis harus mengikuti arah sayatan yang sudah ditentukan oleh perangkat lunak. Dalam pembuatan model awal (Gambar 4.3), sumbu X dibagi menjadi 33 blok sehingga pada model akhir dihasilkan 3 penampang sayatan 2D yang tegak lurus dengan sumbu Y. Demikian halnya, dengan sumbu Y (dibagi 27 blok) menghasilkan 27 penampang sayatan 2D dan sumbu Z (dibagi 10 blok) menghasilkan 10 penampang sayatan. Sehingga terdapat total 70 penampang sayatan 2D yang dihasilkan dari pemodelan, di mana 60 penampang berarah vertikal dan 10 penampang berarah horizontal (Gambar 4.3). Namun, tidak semua penampang akan diinterpretasi melainkan hanya beberapa saja yang dianggap lebih mewakili kondisi bawah permukaan daerah penelitian.

Dari total penampang vertikal dan horizontal model 2D, kemudian dipilih beberapa penampang yang dianggap mewakili kondisi bawah permukaan untuk diinterpretasi. Untuk keperluan interpretasi model bawah permukaan secara 2D diambil arah sayatan dengan orientasi barat timur atau tegak lurus dengan sumbu Y dan arah sayatan dengan orientasi utara selatan atau tegak lurus dengan sumbu X. Pada sayatan dengan orientasi barat timur diambil sebanyak 4 sayatan yang mewakili anomali tinggi, anomali sedang dan anomali rendah. Sedangkan untuk sayatan dengan orientasi utara selatan diambil sebanyak 2 sayatan yang akan memotong semua anomali tinggi, anomali sedang dan anomali rendah (gambar 4.5). Pada interpretasi penampang model 2D ini juga akan mengambil sayatan dengan arah sayatan horizontal pada kedalaman 400 meter.



Gambar 4.5 Posisi Lintasan Sayatan

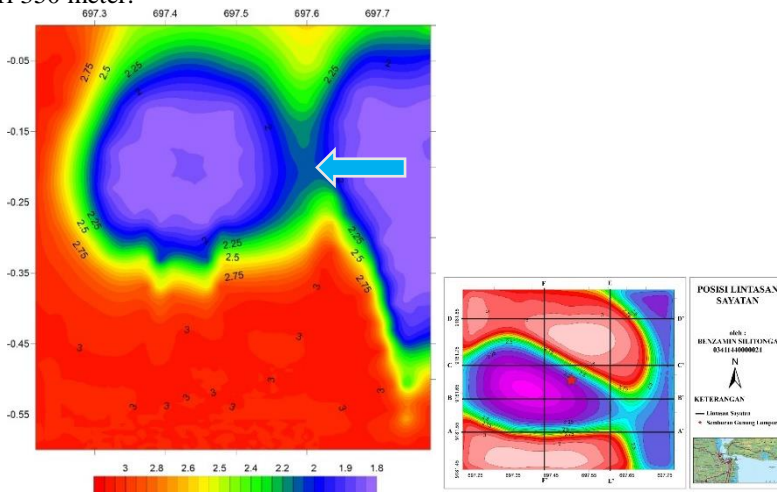


Gambar 4.6 Model Hasil Akhir Optimasi Occam h

Keenam sayatan penampang yang dianggap cukup mewakili tersebut yaitu lintasan A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', dan F-F' pada koordinat berturut-turut 9181.55; 9181.64; 9181.71; 9181.85; 697,42 dan 697,60 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Sayatan dipilih berdasarkan perbedaan kontur warna yang dilewati, manifestasi permukaan yang ada, dan persebaran densitas pada penampang hasil pemodelan. Perbedaan nilai anomali residual tersebut juga bisa menjadi indikasi bahwa terdapat perbedaan densitas yang dimiliki oleh batuan-batuan penyusun geologi permukaan daerah penelitian.

Penampang model hasil sayatan lintasan A-A' hingga F-F' secara berturut-turut yang merupakan model 2D dengan densitas pada permukaan hingga kedalaman tertentu. Model tersebut ditampilkan dengan menggunakan perangkat lunak Surfer 11 dengan interpolasi metode *kriging*.

Penampang model 2D lintasan A-A' yang terdapat pada Y = 9181.55 (Gambar 4.5) ditunjukkan oleh gambar 4.7. Sayatan ini merupakan sayatan paling selatan dari daerah penelitian dan pada sayatan ini memiliki anomali maksimal sekitar 5 mgal. Hal ini disebabkan adanya lapisan batuan keras dengan densitas tinggi (warna merah) dengan nilai 2,6 – 3,00 g/cm³ pada arah barat dengan koordinat 697,2 sampai 697,3 yang memiliki kedalaman mulai dari 0 meter dan pada koordinat 697,3 sampai 697,8 yang memiliki kedalaman mulai dari 350 meter.

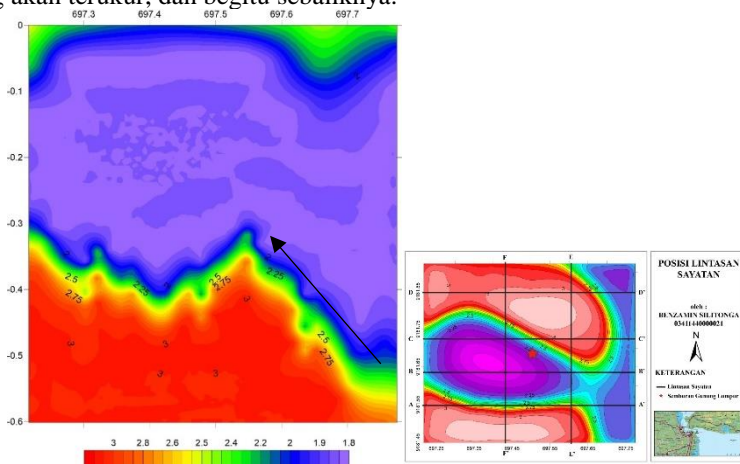


Gambar 4.7 Penampang model 2D lintasan A-A'

dan terdapat anomali minimum sekitar -15 mgal pada permukaan. Hal ini disebabkan oleh adanya massa batuan yang sangat rendah (warna biru tua) dengan nilai densitas 2,2 – 1,8 g/cm³ pada koordinat 697,3 – 697,7 dan mulai dari kedalaman Z > 50 meter. Kemungkinan batuan ini diduga sebagai zona lemah dan merupakan daerah terdapatnya reservoir gunung lumpur. Sedangkan pada koordinat 397,6 terdapat kemenerusan dari zona lemah timur menuju ke barat yang ditunjukkan oleh tanda panah, kemungkinan ini disebabkan adanya

patahan yang menjadi jalur dari lumpur untuk berpindah reservoir yang lebih besar lagi.

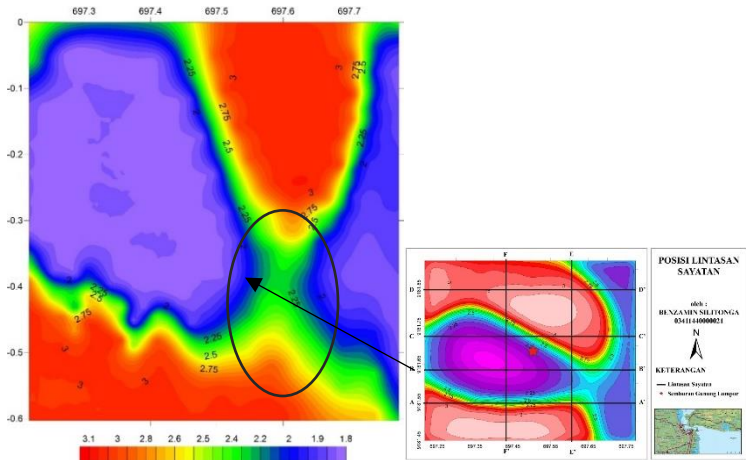
Penampang model 2D lintasan B-B' yang terdapat pada Y = 9181.61 (Gambar 4.5) ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Sayatan ini berada di tengah daerah penelitian dan pada sayatan ini memiliki nilai anomali maksimal sebesar 5 mgal. Hal ini disebabkan karena adanya lapisan sedimen pada permukaan dengan densitas sedang (warna hijau) dengan nilai $2,4 \text{ g/cm}^3$ yang tersebar di permukaan. Dan terdapat anomali minimum sekitar -50 mgal pada permukaan. Hal ini disebabkan oleh adanya massa batuan yang sangat rendah (warna biru – ungu) yang memiliki nilai densitas $2 - 1,8 \text{ g/cm}^3$ yang tersebar di seluruh sayatan dan memiliki kedalaman mulai 0 meter sampai 500 meter. Daerah dengan densitas rendah ini merupakan daerah yang memiliki manifestasi yang terlihat pada permukaan tanah, seperti adanya semburan lumpur yang sangat kecil dan tersebar di koordinat 697,3 sampai 697,5. Rendahnya nilai anomali di daerah ini dapat disebabkan oleh kandungan garam yang sangat tinggi yang terkandung dalam lumpur. Anomali rendah ini juga biasanya juga muncul pada daerah *salt dome*, semakin dekat *salt dome* ke permukaan, maka semakin rendah anomali yang akan terukur, dan begitu sebaliknya.



Gambar 4.8 Penampang model 2D lintasan B-B'

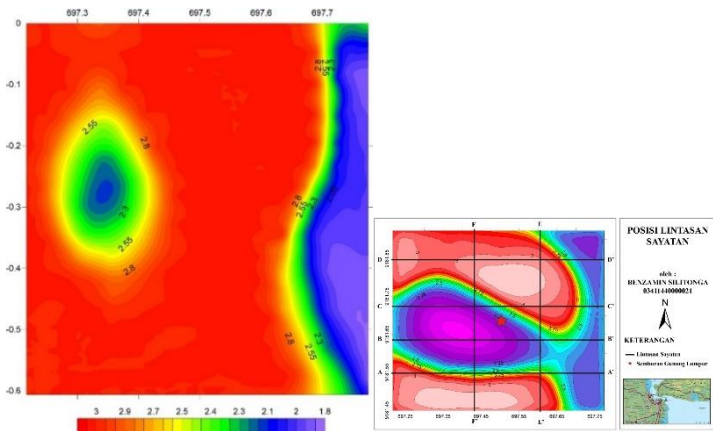
Penampang model 2D lintasan C-C' yang terdapat pada Y = 9181.61 (Gambar 4.5) ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Sayatan ini berada di tengah daerah penelitian dan pada sayatan ini memiliki nilai anomali maksimal sebesar 10 mgal. Anomali ini tersebar di koordinat 697,45 sampai 697,7, hal ini disebabkan karena adanya daerah dengan lapisan sedimen (daerah pemakaman) yang memiliki densitas sedang ke tinggi (warna hijau ke merah) dengan nilai $2,4 - 3 \text{ g/cm}^3$ yang tersebar di koordinat 697,45 sampai 697,7 pada kedalaman 0 sampai 300 meter. Dan terdapat juga pada kedalaman 400 meter kebawah. Dan terdapat anomali minimum sekitar -50 mgal pada permukaan. Daerah zona lemah ini merupakan kemenerusan dari zona lemah di sayatan B-B', dan merupakan

daerah terdapatnya lumpur. Pada sayatan ini, dapat dilihat dengan jelas bahwa kemungkinan terdapat patahan yang merupakan jalur lumpur masuk kedalam reservoir gunung lumpur sedati.



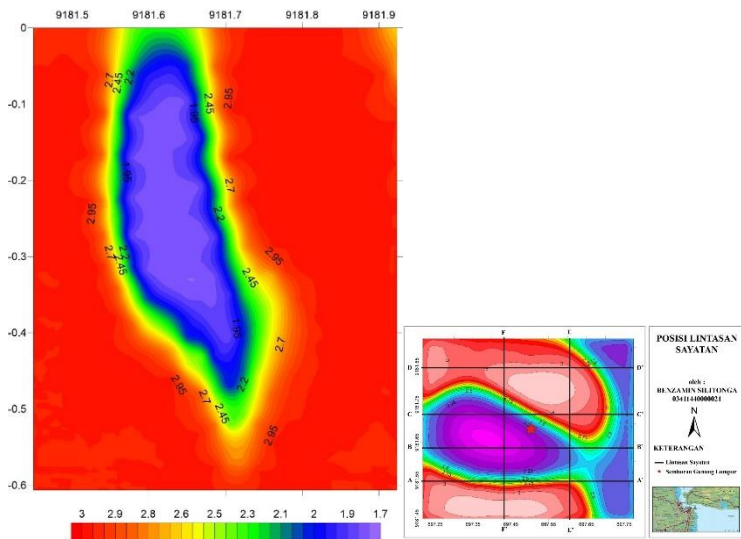
Gambar 4.9 Penampang model 2D lintasan C-C’

Penampang model 2D lintasan D-D’ yang terdapat pada Y = 9181.81 (Gambar 4.5) ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Sayatan ini berada pada arah utara daerah penelitian, yang didominasi oleh anomali tinggi dengan nilai maksimal 35 mgal. Hal ini disebabkan oleh lapisan batuan yang memiliki densitas tinggi (warna merah) dengan nilai 2.8 sampai 3 g/cm³ yang tersebar di koordinat 697,2 sampai 697,7 dan memiliki nilai anomali minimum 5 mgal pada permukaan. Di sayatan ini terdapat densitas rendah dengan nilai 1,8 g/cm³ pada koordinat 697,3 dengan kedalaman 200 meter sampai 350 meter merupakan batas dari reservoir gunung lumpur sedati.



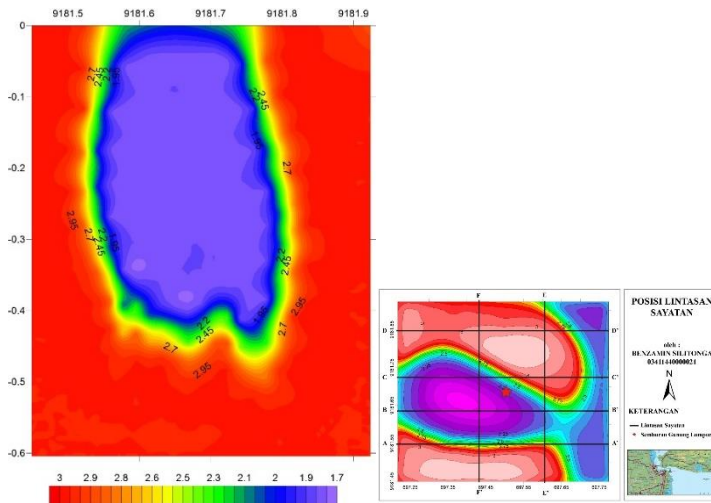
Gambar 4.10 Penampang model 2D lintasan D-D’

Penampang model 2D lintasan E-E' yang terdapat pada Y = 697,60 (Gambar 4.5) ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Sayatan ini diambil dengan arah utara selatan dan memiliki nilai anomali maksimum 30 mgal. Hal ini disebabkan oleh massa lapisan batuan yang memiliki densitas tinggi (warna merah) dengan nilai 2.8 sampai 3 g/cm³ yang tersebar di koordinat 9181,5 sampai 9181,9 dengan kedalaman 0 sampai 600 meter. Dan terdapat anomali minimal -10 mgal pada permukaan. Hal ini disebabkan oleh adanya zona lemah yang memiliki densitas rendah (warna biru sampai warna ungu) dengan nilai 2 sampai 1,8 g/cm³ pada kedalaman 20 meter sampai 500 meter. Daerah zona lemah ini diduga merupakan daerah lumpur terkumpul di gunung lumpur Sedati.



Gambar 4.11 Penampang model 2D lintasan E-E'

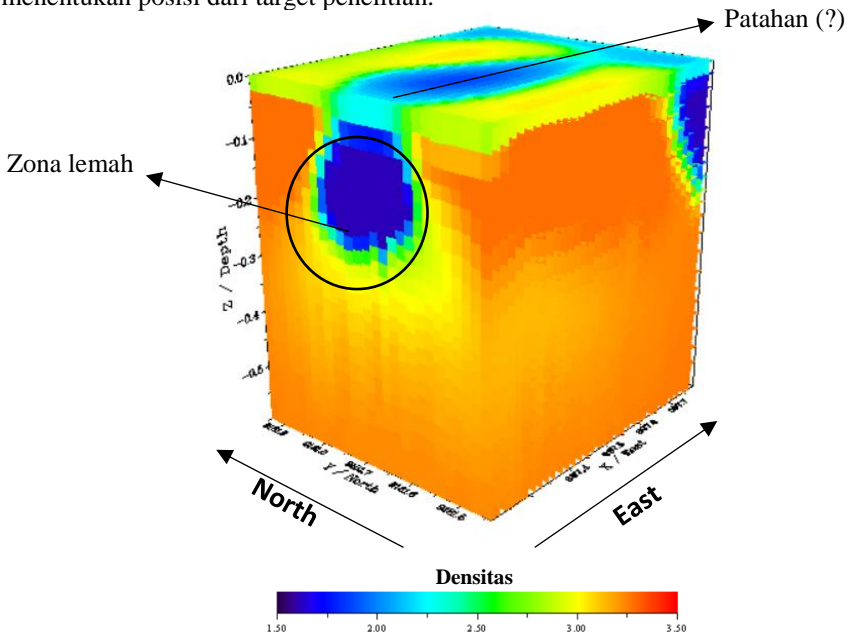
Hal yang serupa juga terlihat pada sayatan F-F' (Gambar 4.12). Pada gambar 4.12 menunjukkan zona lemah pada koordinat 9181,55 sampai 9181,8 pada kedalaman mulai dari 0 meter sampai pada kedalaman 450 meter. Pada permukaan sayatan ini terdapat munculnya semburan lumpur yang cukup besar yang menyemburkan lumpur dengan kandungan garam yang tinggi sehingga mempengaruhi nilai anomali di permukaan dengan nilai minimum -50. Pada semburan lumpur di Sedati juga terdapat *bubble* yang keluar dan mengeluarkan gas. Kandungan gas pada reservoir gunung lumpur ini juga mempengaruhi densitas pada zona lemah, semakin banyak gas yang terkandung maka densitas akan semakin rendah.



Gambar 4.12 Penampang model 2D lintasan F-F'

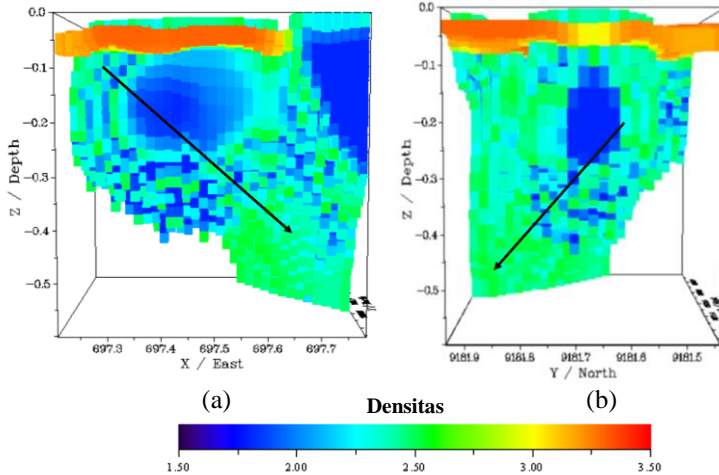
4.6 Analisis Model 3D

Hasil pemodelan gaya berat juga ditampilkan secara 3D menggunakan perangkat lunak Bloxer 1.6 seperti ditunjukkan oleh gambar 4.13. Model ini dianalisis dengan pertimbangan dan dukungan data-data koordinat untuk menentukan posisi dari target penelitian.



Gambar 4.13 Penampang model 3D

Gambar model tersebut menunjukkan batuan dengan densitas rendah tersebar dari permukaan sampai kedalaman 500 meter. Densitas rendah ini merupakan zona lemah yang terdapat di bawah permukaan dengan nilai 1,9 sampai 1,8 g/cm^3 . Sedangkan nilai densitas tinggi ini mengelilingi zona lemah yang dapat di katakan sebagai cekungan yang menahan lumpur, densitas tinggi ini memiliki nilai dari 2,5 sampai 3,00 g/cm^3 .



Gambar 4.14 Persebaran nilai densitas rendah

Gambar 4.14 menunjukkan persebaran nilai densitas rendah, yang menunjukkan zona lemah. Zona lemah ini diperkirakan disebabkan oleh adanya kandungan lumpur. Zona lemah yang memiliki nilai densitas yang rendah yakni sekitar 1,6 g/cm^3 sampai dengan 1,9 g/cm^3 yang menunjukkan bahwa adanya kandungan lumpur karena lumpur memiliki nilai densitas sebesar 1,8 g/cm^3 . Pada gambar 4.14 (a) ditampilkan persebaran densitas rendah dari arah Selatan lokasi penelitian dan gambar 4.14 (b) ditampilkan persebaran densitas rendah dari arah Barat, yang menunjukkan bahwa arah persebaran densitas rendah dimulai dari Barat Daya menuju arah Timur Laut. Pada sayatan C-C' menunjukkan adanya penyempitan densitas rendah pada kedalaman 400 meter yang dapat disebut sebagai patahan karena terdapat densitas yang sama (0-350 meter dan 450-600 meter) yang dipisahkan dengan densitas yang lebih rendah yang menunjukkan adanya perubahan nilai densitas yang cukup signifikan. Dari arah persebaran densitas rendah di atas, dapat disimpulkan bahwa adanya kemungkinan indikasi terdapat patahan dengan arah Barat - Timur.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Hasil pemodelan inversi 3D gaya berat memperlihatkan bahwa:
 - a) adanya blok batuan berdensitas tinggi ($3 - 3,3 \text{ g/cm}^3$) yang diinterpretasikan sebagai cekungan yang menahan reservoir dari gunung lumpur.
 - b) di dekat permukaan dan sekitar semburan lumpur daerah penelitian, terdapat blok batuan berdensitas rendah ($1,8 - 2 \text{ g/cm}^3$) yang diinterpretasikan sebagai zona lemah yang dipengaruhi oleh keberadaan lumpur.
2. Terdapat indikasi terdapat patahan dengan arah Barat-Timur dari daerah penelitian

5.2 Saran

Dari hasil penelitian tugas akhir ini, penulis memberikan saran untuk dilakukan studi lanjutan dengan luasan daerah penelitian lebih besar sehingga mencakup semua daerah zona lemah dan untuk mendapatkan informasi anomali regional dari daerah gunung lumpur sedati. Penulis juga memberikan saran untuk dilakukan studi lanjutan dengan menggunakan metode geofisika lainnya, seperti metode seismik dan metode *magnetotelluric* untuk dapat melengkapi informasi struktur bawah permukaan daerah gunung lumpur sedati.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Atef, H., Abd El-Gawad, A.M.S., Abdel Zaher, M. dan Farag, K.S.I. (2016), "The contribution of gravity method in geothermal exploration of southern part of the Gulf of Suez–Sinai region, Egypt", *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, Vol.5, No.1, hal. 173–185. <http://doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.02.005>.
- Baghzendani, H.R., Aghajani, H. dan Solimani, M. (2015), *Subsurface modeling of mud volcanoes, using density model and analysis of seismic velocity*, Vol.6, No.1, hal. 31–39. <http://doi.org/10.22044/jme.2015.383>.
- Bahri, A. dan Syaifuddin, F. (2015), *Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano, Surabaya, East Java*. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1515.9448>.
- Blakely, R.J. (1995), *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>.
- Burhanuddinur, M. (2016), *Mud Volcano (Gunung Lumpur) di Cekungan Jawa Timur*, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Constable, S.C., Parker, R.L. dan Constable, C.G. (1987), "Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data", *Geophysics*, Vol.52, No.3, hal. 289–300. <http://doi.org/10.1190/1.1442303>.
- Deville, E., Battani, A., Griboulard, R., Guerlais, S.H., Herbin, J.P., Houzay, J.P., Muller, C. dan Prinzhofer, A. (2003), *Mud volcanism origin and processes: New insights from Trinidad and the Barbados prism*.
- Djudjun, A. (2005), *Penyelidikan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Sipoholon-Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Propinsi Sumatera Utara*, Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Bandung.
- Effendi (1990), *Macam Koreksi-Koreksi Dalam Eksplorasi Gravity*, Penerbit Erlangga, Bandung.
- Elkins, T. (1951), "The Second Derivative Method Of Gravity Interpretation", *GEOPHYSICS*, Vol.16, No.1, hal. 29–50. <http://doi.org/10.1190/1.1437648>.
- Fedi, M. dan Rapolla, A. (1999), "3-D inversion of gravity and magnetic data with depth resolution", *Geophysics*, Vol.64, No.2, hal. 452. <http://doi.org/10.1190/1.1444550>.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli

- Hinze, W.J., Saad, A.H. dan Frese, R.R.B. von (2013), *Gravity and Magnetic Exploration Principles , Practices , and Applications*, Cambridge University Press, New York.
- Hjelt, S.-E. (1992), *Pragmatic Inversion of Geophysical Data*, Lecture Notes in Earth Sciences 39, 1 Ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Jerman.
Diambil dari <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=ae7807c8a1e54d5f7a96ed6164126fcc>.
- Hurun, N. (2016), *Analisis Data Geolistrik Resistivitas jenis Untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Istadi, B., Pramono, G., Sumintadireja, P. dan Alam, S. (2009), *Modeling study of growth and potential geohazard for LUSI mud volcano: East Java, Indonesia*. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.03.006>.
- Jusmi, F. (2016), *Pemodelan Tiga Dimensi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Pamancalan Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, Jawa Barat Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi*, Universitas Gadjah Mada.
- Kadir, W.G.A. (2000), *Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kadirov, F., Lerche, I., Guliyev, I., Kadyrov, A., Mukhtarov, A. dan Feyzullayev, A. (2003), "Gravity model of mud volcanoes", *AAPG Annual Convention*, No.May 2014, hal. 1–7.
- Mazzini, A., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G.G., Fallik, T. dan Banks, D. (2009), *When mud volcanoes sleep: Insight from seep geochemistry at the Dashgil mud volcano, Azerbaijan*. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.11.003>.
- Parapat, J., Hilyah, A., Utama, W. dan Rahadinata, T. (2016), *Pemodelan 3d Data Gaya Berat Untuk Mengidentifikasi Sumber Panas Daerah Panas Bumi Sipoholon , Sumatera Utara*, Vol.3, No.3, hal. 167–172. <http://doi.org/10.12962/j25023659>.
- Pirttijärvi, M. (2004), *GRABLOX : Gravity interpretation and modeling software based on a 3-D block model*, Version 1., Geological Survey of Finland.
- Prabawa Arwananda, A., Aryaseta, B., Dezulfakar, H., Fatahillah, Y. dan Pandu Gya Nur Rochman, J. (2017), "Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud

Volcano", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.62, No.1. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/62/1/012010>.

Purnomo, J., Koesuma, S. dan Yunianto, M. (2013), *Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion*. <http://doi.org/10.13057/ijap.v3i01.1208>.

Reynold J. M. (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*,.

Satjana, A.H. dan Asnidar (2008), "Mud diapirs and mud volcanoes in depressions of Java to Madura: Origins, natures, and implications to petroleum system", *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Thirty-second Annual Convention & Exhibition, May 2008*, Vol.2, No.May, hal. IPA08-G-139.

Setianingsih, Efendi, R., Kadir, W.G.A., Santoso, D., Abdullah, C.I. dan Alawiyah, S. (2013), "Gravity Gradient Technique to Identify Fracture Zones in Palu Koro Strike-slip Fault", *Procedia Environmental Sciences*, Vol.17, No.December, hal. 248–255. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.035>.

Sugianto, A. dan Rahadinata, T. (2015), "Pemodelan Gaya Berat 3d Daerah Panas Bumi Dolok Marawa Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara 3d Gravity Modeling Of Dolok Marawa Geothermal Field In Simalungun Regency, North Sumatera", *Buletin Sumber Daya Geologi*, Vol.10, No.2, hal. 26–39.

Supriyanto (2007), "Memahami Teori Inversi Edisi I", *Universitas Indonesia*, hal. 21–22.

Susilohadi (1995), *Late Tertiary and Quaternary Geology of the East Java Basin, Indonesia*, The University of Wollongong, Australia.

Syaifuddin, F., Bahri, A.S., Lestari, W. dan Pandu, J. (2016), "Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Java", *AIP Conference Proceedings*, Vol.1730. <http://doi.org/10.1063/1.4947400>.

Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, 2nd Ed., Cambridge University Press, New York.

Zarkasyi, A. dan Suhanto, E. (2005), *Pemodelan Inversi 3D Gaya Berat dan Magnet Pada Sistem Panas Bumi Daerah Jaboi, Pulau Weh, Provinsi Aceh*, Vol.8, No.1, hal. 26–32.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN

A. Lampiran 1

a. Kondisi Lapangan



Gambar 1. Kondisi Lapangan di daerah gunung lumpur



Gambar 2. Kondisi Lapangan di sebelah timur gunung lumpur

b. Akusisi di Lapangan



Gambar 3. Akusisi Data Gayabarat di lapangan

c. Semburan Lumpur



Gambar 4. Semburan Gunung Lumpur Sedati

d. Tabel Konversi Data Bacaan Gravimeter

LAMPIRAN

Lampiran I. Tabel Konversi Pembacaan Gravity-meter La Coste Romberg tipe G-1053

COUNTER READING	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL	COUNTER READING	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL
0	0	1,01437			
100	101,44	1,01430	3600	3651,97	1,01554
200	202,87	1,01423	3700	3753,53	1,01561
300	304,29	1,01417	3800	3855,09	1,01568
400	405,71	1,01411	3900	3956,66	1,01574
500	507,12	1,01406	4000	4058,23	1,01580
600	608,52	1,01402	4100	4159,81	1,01586
700	709,93	1,01398	4200	4261,40	1,01591
800	811,32	1,01396	4300	4362,99	1,01596
900	912,72	1,01394	4400	4464,58	1,01600
1000	1013,11	1,01394	4500	4566,18	1,01604
1100	1115,51	1,01394	4600	4667,79	1,01606
1200	1216,90	1,01396	4700	4769,39	1,01608
1300	1318,30	1,01398	4800	4871,00	1,01610
1400	1419,70	1,01401	4900	4972,61	1,01610
1500	1521,10	1,01404	5000	5074,22	1,01609
1600	1622,50	1,01409	5100	5175,83	1,01607
1700	1723,91	1,01413	5200	5277,44	1,01604
1800	1825,32	1,01419	5300	5379,04	1,01599
1900	1929,74	1,01425	5400	5480,64	1,01594
2000	2028,17	1,01431	5500	5582,23	1,01587
2100	2129,60	1,01438	5600	5683,82	1,01578
2200	2231,04	1,01445	5700	5785,40	1,01569
2300	2332,48	1,01452	5800	5886,97	1,01558
2400	2433,93	1,01460	5900	5988,52	1,01546
2500	2535,39	1,01468	6000	6090,07	1,01533
2600	2636,86	1,01476	6100	6191,60	1,01519
2700	2738,34	1,01483	6200	6293,12	1,01505
2800	2839,82	1,01491	6300	6394,63	1,01489
2900	2941,31	1,01499	6400	6496,12	1,01474
3000	3042,81	1,01507	6500	6597,59	1,01459
3100	3144,32	1,01515	6600	6699,05	1,01445

Gambar 5. Tabel Konversi Data Bacaan Gravimeter

B. Lampiran 2

Tabel 1. Data hasil Akusisi

Stasiun	Waktu Total	KOORDINAT			Elevasi dem	Data Bacaan
		Zona	Easting	Northing		
1	38447	49M	697274	9181923	3.704137	1697.43
2	54339	49M	697328	9181914	2.847687	1697.877
3	53948	49M	697369	9181910	2.569834	1697.183
4	53527	49M	697431	9181896	5.792352	1698.03
5	61725	49M	697460	9181870	5.815875	1697.893
6	56285	49M	697513	9181877	5.005293	1697.763
7	56825	49M	697567	9181855	5.014698	1698
8	57250	49M	697610	9181843	5.033148	1698.043
9	57622	49M	697567	9181838	4.666433	1697.803
10	58070	49M	697704	9181821	0.578078	1697.87
11	58434	49M	697770	9181816	1.71148	1698.233
12	37974	49M	697266	9181867	3.330589	1697.617
13	54849	49M	697318	9181864	2.441955	1698.037
14	55211	49M	697359	9181857	3.009533	1697.503
15	60980	49M	697424	9181841	5.252697	1697.987
16	60492	49M	697456	9181818	5.064844	1697.917
17	60176	49M	697519	9181812	4.434327	1698.96
18	59910	49M	697570	9181801	4.124961	1698.177
19	59508	49M	697609	9181795	4.602603	1698.307
20	59158	49M	697657	9181783	1.520397	1698.243
21	58824	49M	697697	9181768	1.470504	1697.853
23	39750	49M	697255	9181820	2.438528	1697.76
24	39865	49M	697305	9181789	2.915004	1697.773
25	40410	49M	697354	9181780	4.015831	1698.03
26	41000	49M	697401	9181766	4.740667	1698.167
27	41592	49M	697442	9181765	5.687318	1697.963
28	42130	49M	697497	9181760	5.291455	1697.49
29	43437	49M	697555	9181750	4.884054	1697.227
30	44030	49M	697599	9181741	4.443434	1698.517

31	44550	49M	697647	9181720	3.278119	1698.783
34	37340	49M	697240	9181795	3.048905	1697.7
35	50430	49M	697283	9181761	3.00606	1698.293
36	50835	49M	697334	9181735	3.771063	1698.193
37	49785	49M	697396	9181737	5.685233	1697.49
38	49331	49M	697437	9181727	6.803405	1697.91
39	42584	49M	697492	9181722	6.569041	1697.32
40	43045	49M	697555	9181703	5.4192	1697.057
41	46212	49M	697591	9181694	4.288168	1697.827
42	45805	49M	697633	9181683	3.412209	1698.403
43	45161	49M	697691	9181691	2.458499	1698.603
44	45439	49M	697738	9181661	1	1698.193
45	36426	49M	697227	9181729	3.992837	1697.58
46	56552	49M	697294	9181714	3.447054	1697.663
47	56261	49M	697338	9181702	4.978418	1697.963
48	55933	49M	697384	9181688	7.487277	1697.46
49	55491	49M	697444	9181674	7.983006	1696.623
50	55183	49M	697483	9181668	7.694338	1696.91
51	54231	49M	697540	9181660	7.187167	1697.35
52	29540	49M	697396	9181737	5.685233	1697.26
53	30125	49M	697628	9181636	4.954002	1697.88
54	30537	49M	697680	9181634	1.795387	1698.12
56	35596	49M	697251	9181677	2.432281	1697.657
57	57198	49M	697267	9181652	2.532209	1698.023
58	57649	49M	697327	9181653	6.44203	1697.577
59	57957	49M	697375	9181640	8.761737	1697.257
60	58245	49M	697422	9181628	8.155733	1696.663
61	58659	49M	697477	9181619	8	1697.183
62	59142	49M	697529	9181606	7.997952	1697.187
63	35150	49M	697565	9181587	6.82391	1697.693
64	35687	49M	697614	9181579	4.622302	1697.99
65	31120	49M	697677	9181577	1.734868	1698.33
66	31680	49M	697718	9181555	1	1698.547
67	34262	49M	697237	9181609	2.120538	1697.8

68	33642	49M	697274	9181614	3.349725	1697.61
69	32258	49M	697326	9181591	5.194807	1697.717
70	40978	49M	697368	9181593	6.755677	1697.073
71	40506	49M	697416	9181579	7.979447	1697.147
72	34430	49M	697469	9181567	6.610571	1697.143
73	33990	49M	697522	9181547	4.813586	1697.957
74	36710	49M	697567	9181542	5.822549	1698.15
75	36205	49M	697618	9181533	4.48972	1698.223
76	31915	49M	697669	9181519	1.620634	1698.477
79	33153	49M	697243	9181556	2	1697.963
80	32743	49M	697311	9181553	2.73589	1697.913
81	41186	49M	697356	9181543	4.341192	1698.263
82	41817	49M	697411	9181528	6.316009	1697.957
83	42141	49M	697453	9181514	4.415818	1697.847
84	33255	49M	697521	9181512	4.156889	1698.153
85	37200	49M	697554	9181498	4.556031	1698.4
86	32280	49M	697609	9181487	3.607274	1698.363
89	45790	49M	697216	9181523	2.417167	1697.143
90	45041	49M	697238	9181483	3.305228	1698.073
91	44491	49M	697300	9181500	4.050961	1698.147
92	44044	49M	697336	9181457	3.459717	1698.04
93	43522	49M	697389	9181477	4.098623	1698.22
94	43015	49M	697443	9181448	3.794337	1698.113
95	42622	49M	697505	9181447	3.740956	1698.333
96	32710	49M	697544	9181446	3.636245	1698.33

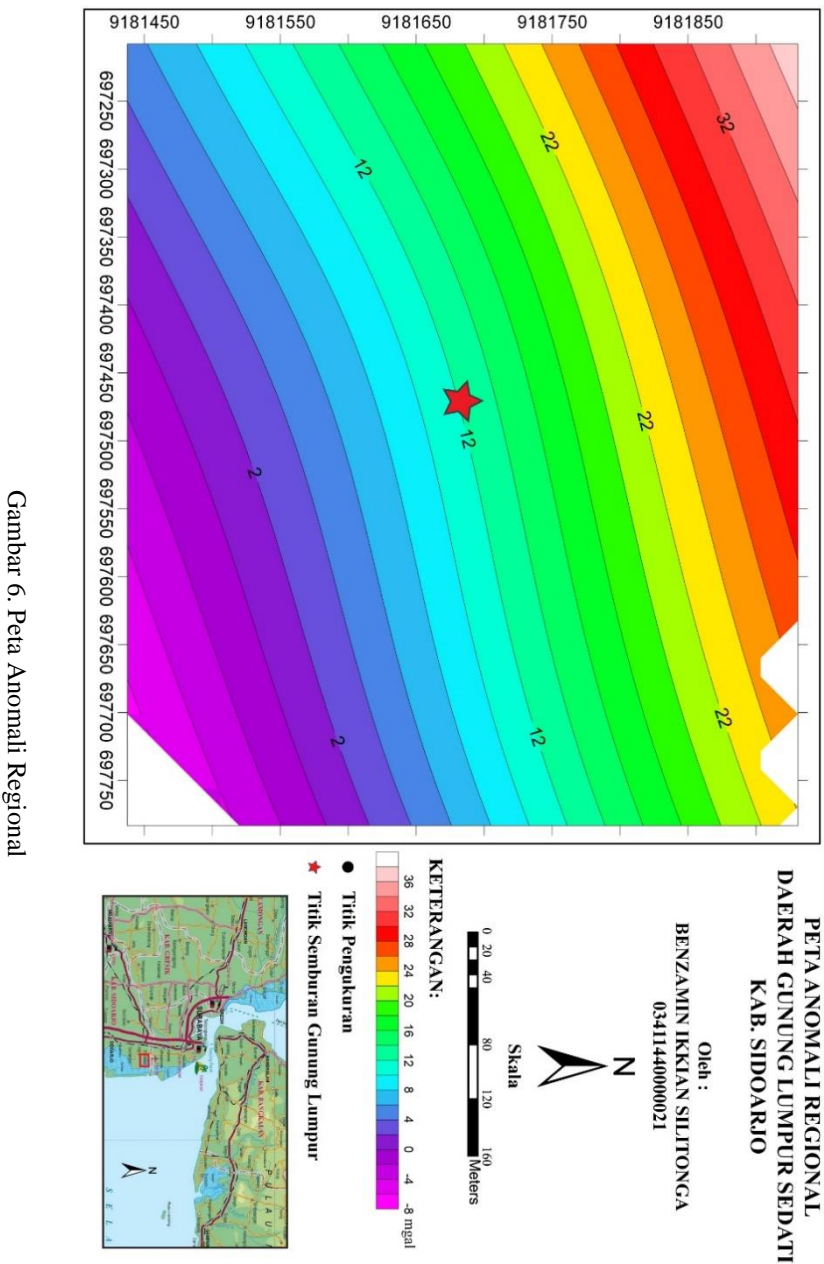
Tabel 2. Data hasil Koreksi

Stasiun	Grav(mgal)	Gtidal	Gdrift	FAA	CBA
1	1721.304	1750.546	1690.585	58.09259	57.80942
2	1721.757	1739.901	1726.742	22.20117	22.01952
3	1721.054	1741.841	1728.855	20.17501	20.02449
4	1721.912	1730.737	1717.936	30.10221	29.60765
5	1721.774	1732.715	1716.299	31.73799	31.23998
6	1721.642	1753.835	1739.818	8.467105	8.052643
7	1721.882	1720.087	1705.832	42.4547	42.04425
8	1721.926	1719.662	1705.219	43.06426	42.65246
9	1721.682	1719.143	1704.537	43.86109	43.4833
10	1721.75	1745.28	1730.475	19.18761	19.10831
11	1722.118	1728.985	1714.02	35.29438	35.22914
12	1721.493	1754.532	1696.9	51.90409	51.66199
13	1721.919	1751.167	1737.784	11.29493	11.15598
14	1721.378	1722.041	1708.498	40.40765	40.20576
15	1721.868	1721.565	1705.477	42.73957	42.30043
16	1721.797	1720.685	1704.813	43.46661	43.04614
17	1722.855	1721.1	1705.367	43.10775	42.75375
18	1722.061	1719.836	1704.22	44.35254	44.03453
19	1722.193	1719.677	1704.239	44.18785	43.82008
20	1722.129	1719.507	1704.223	45.15727	44.98232
21	1721.733	1748.088	1732.951	16.44706	16.27735
23	1721.638	1715.454	1722.688	26.40151	26.25717
24	1721.652	1715.658	1723.051	25.8974	25.70852
25	1721.912	1716.354	1724.502	24.10835	23.80142
26	1722.051	1717.163	1726.13	22.26006	21.87595
27	1721.845	1717.853	1727.64	20.45755	19.96945
28	1721.365	1718.482	1729.015	19.20567	18.75758
29	1721.097	1722.68	1735.026	13.32274	12.91668
30	1722.406	1725.805	1738.973	9.514001	9.160841
31	1722.676	1728.027	1741.916	6.934589	6.703936

34	1721.578	1758.42	1703.909	44.997	44.78766
35	1722.179	1743.441	1765.483	-16.5569	-16.7645
36	1722.078	1745.71	1768.313	-19.6177	-19.903
37	1721.365	1740.244	1761.391	-13.2872	-13.7762
38	1721.79	1738.292	1758.811	-11.0492	-11.6559
39	1721.192	1719.618	1730.781	17.0534	16.47096
40	1720.925	1720.845	1732.647	15.54623	15.07984
41	1721.706	1735.854	1752.048	-3.5038	-3.83703
42	1722.291	1734.128	1749.758	-0.94091	-1.1824
43	1722.494	1729.914	1744.65	4.459673	4.315951
44	1722.078	1731.666	1746.788	2.777406	2.788283
45	1721.456	1762.084	1712.072	36.5561	36.24919
46	1721.54	1758.179	1788.709	-39.9094	-40.1624
47	1721.845	1756.537	1786.664	-38.3341	-38.7448
48	1721.334	1753.973	1783.645	-36.0865	-36.7582
49	1720.486	1750.976	1780.035	-32.6271	-33.3544
50	1720.776	1749.039	1777.671	-30.1729	-30.8696
51	1721.223	1747.194	1774.506	-26.8494	-27.4939
52	1721.131	1741.898	1739.679	8.424906	7.935879
53	1721.76	1740.511	1738.034	10.31629	9.920215
54	1722.003	1738.758	1736.1	13.22562	13.16151
56	1721.534	1765.906	1719.98	29.14031	29.00109
57	1721.905	1760.37	1791.796	-42.7008	-42.8523
58	1721.452	1761.61	1793.662	-45.7737	-46.3315
59	1721.128	1762.837	1795.316	-48.1409	-48.9382
60	1720.526	1763.636	1796.514	-49.1494	-49.8876
61	1721.054	1765.404	1798.856	-51.442	-52.1724
62	1721.057	1766.483	1800.604	-53.1869	-53.9058
63	1721.571	1767.65	1762.957	-15.1731	-15.7667
64	1721.872	1748.68	1743.75	4.714732	4.348828
65	1722.216	1750.995	1748.08	1.276593	1.221756
66	1722.436	1753.143	1749.98	-0.39291	-0.37493
67	1721.679	1769.731	1730.373	18.85783	18.75195
68	1721.486	1773.132	1736.825	12.02511	11.79229

69	1721.594	1783.277	1753.784	-5.49805	-5.9215
70	1720.942	1753.522	1746.258	1.545382	0.953088
71	1721.016	1755.405	1748.349	-0.92038	-1.64312
72	1721.013	1757.134	1752.758	-4.9047	-5.48104
73	1721.838	1744.628	1740.446	7.965917	7.580133
74	1722.034	1746.842	1741.461	6.641396	6.151243
75	1722.108	1767.398	1762.239	-13.7241	-14.0697
76	1722.365	1766.721	1763.455	-14.0518	-14.095
79	1721.845	1776.974	1743.075	6.204222	6.113396
80	1721.794	1780.275	1748.395	0.657575	0.493762
81	1722.149	1765.433	1758.077	-9.51825	-9.8592
82	1721.838	1763.92	1756.285	-8.33272	-8.88138
83	1721.726	1762.482	1754.705	-6.16286	-6.51299
84	1722.037	1761.351	1757.494	-8.87189	-9.18437
85	1722.287	1760.053	1754.456	-5.95389	-6.31188
86	1722.25	1769.331	1765.903	-17.1067	-17.3578
89	1721.013	1765.153	1755.766	-6.60948	-6.74976
90	1721.956	1763.12	1754.063	-5.17228	-5.39521
91	1722.03	1737.644	1728.83	19.82762	19.51927
92	1721.922	1735.131	1726.514	22.33454	22.0842
93	1722.105	1760.273	1751.887	-3.23949	-3.55583
94	1721.997	1757.169	1749.006	-0.25907	-0.54326
95	1722.22	1721.09	1713.101	35.6632	35.38642
96	1722.216	1721.947	1718.33	30.46648	30.21282

C. Lampiran 3



HASIL OPTIMASI DENSITAS

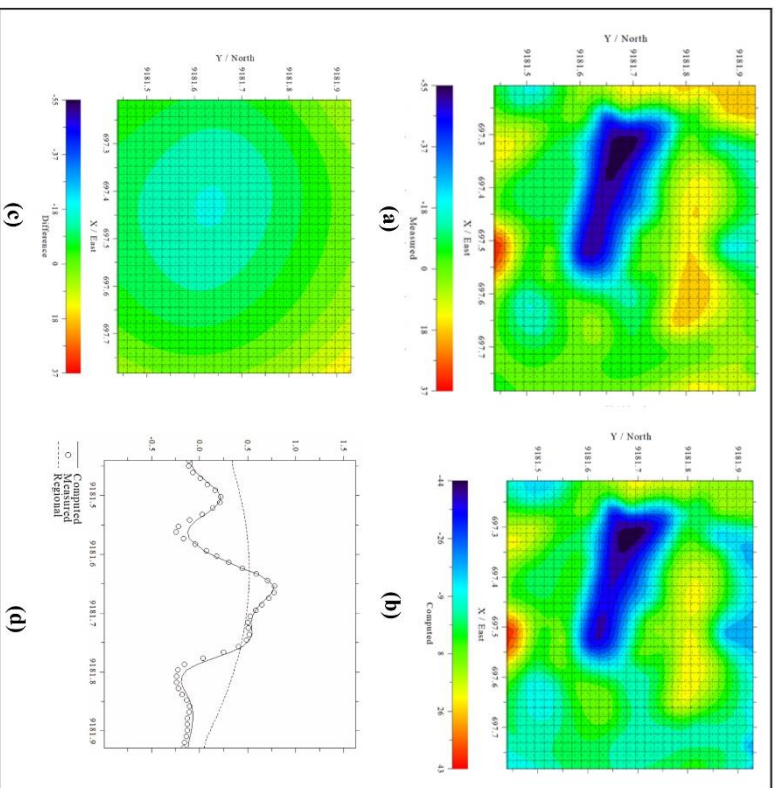
oleh :
BENZAMIN SILITONGA
0341144000021

KETERANGAN

- Data Awal Pengukuran
- Hasil Perhitungan
- Perbedaan Nilai Awal Dengan Nilai Perhitungan
- Kurva Pembandingan

Perangkat Lunak :

- Grablox 1.6
- Bloxer 1.6



Gambar 7. Model Hasil Optimasi Densitas

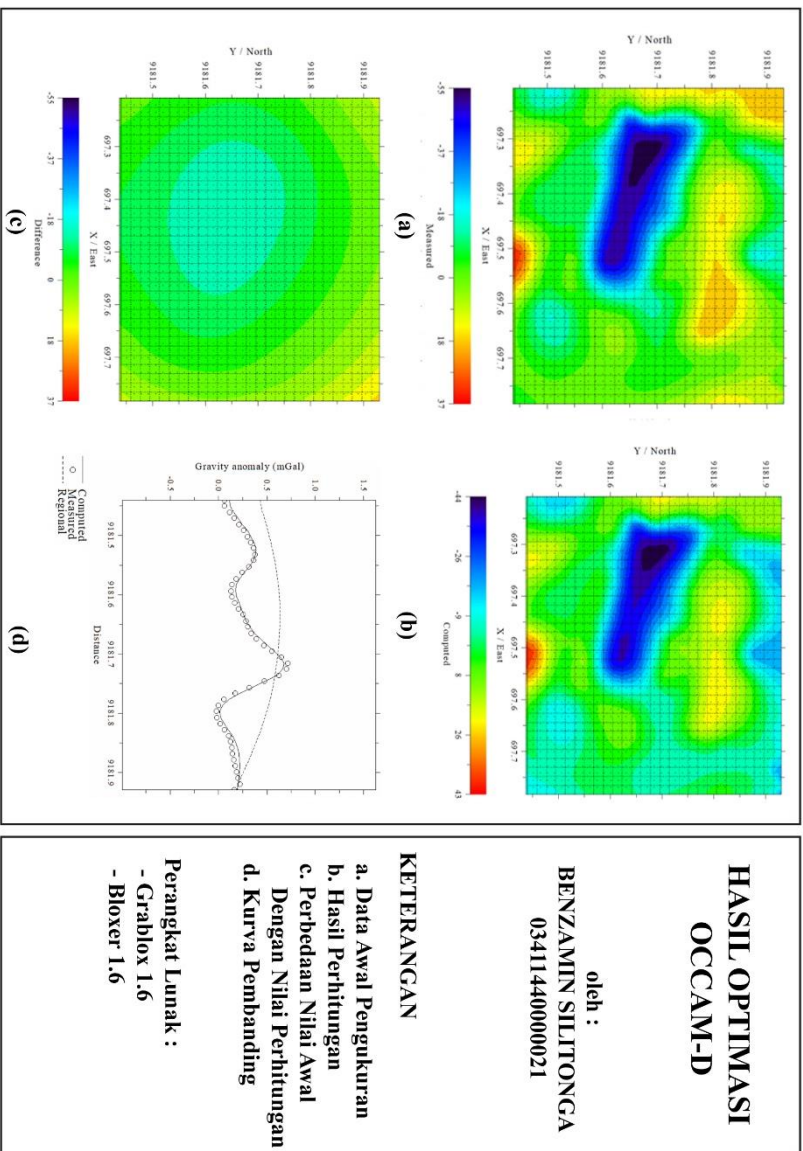
HASIL OPTIMASI OCCAM-D

oleh :
BENZAMIN SILITONGA
0341144000021

KETERANGAN

- a. Data Awal Pengukuran
- b. Hasil Perhitungan
- c. Perbedaan Nilai Awal Dengan Nilai Perhitungan
- d. Kurva Pembandingan

Perangkat Lunak :
- Grablox 1.6
- Bloxer 1.6



Gambar 8. Model Hasil Optimasi Occam d

HASIL OPTIMASI HEIGHT

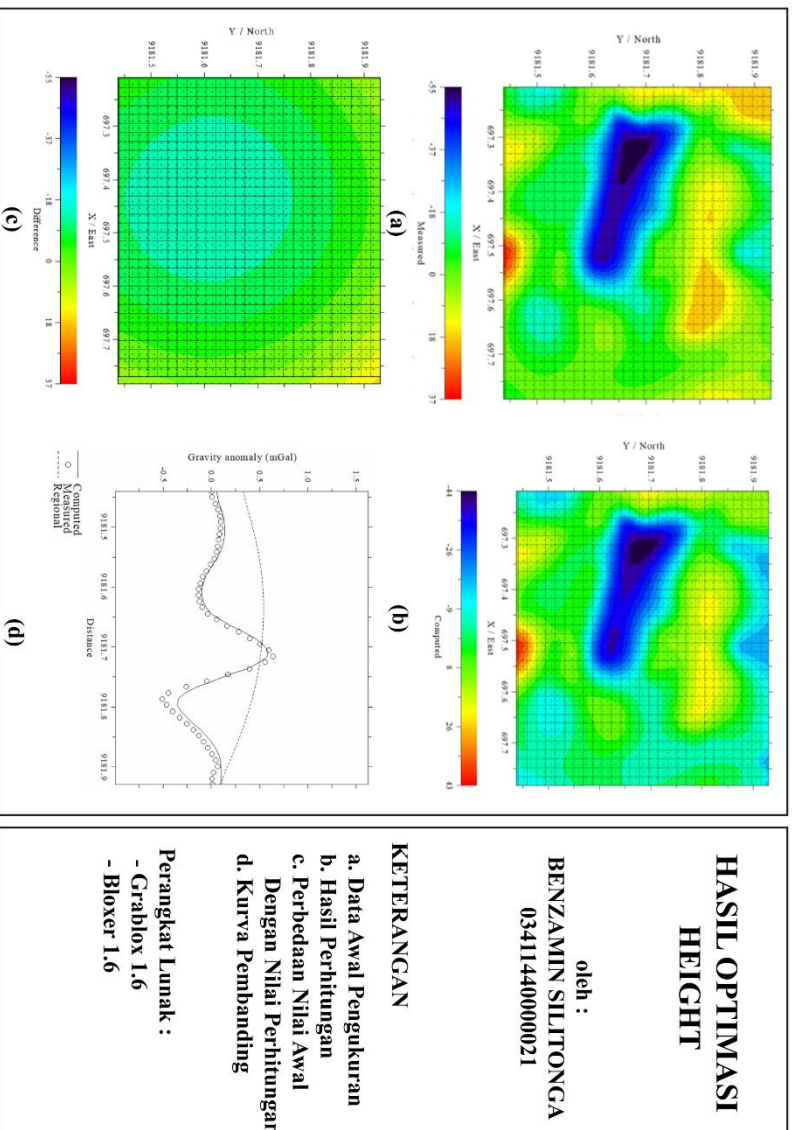
oleh :
BENZAMIN SILITONGA
03411440000021

KETERANGAN

- Data Awal Pengukuran
- Hasil Perhitungan
- Perbedaan Nilai Awal
Dengan Nilai Perhitungan
- Kurva Pembanding

Perangkat Lunak :

- Grablox 1.6
- Bloxer 1.6



Gambar 9. Model Hasil Optimasi Height

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BIOGRAFI PENULIS



Penulis, yang bernama Benzamin Ikkian Silitonga, lahir di Parlilitan pada 03 Januari 1997 dan merupakan anak ke-5 dari 5 (lima) bersaudara. Penulis menempuj pendidikan di SDN No. 173484 Parlilitan (2002-2008), SMPN 1 Parlilitan (2008-2011), dan SMAN 2 Soposurung Balige (2011-2014). Pada tahun 2014, penulis diterima melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan mahasiswa baik di dalam kampus maupun di luar kampus. Beberapa diantaranya adalah pernah menjadi Kepala Departemen Informasi *Society of Exploration Geophysicist ITS Student Chapter* (2016-2017), Kepala Divisi Kreatif Majalah HMGZine HMGI (2016-2017), serta menjadi anggota *Society of Exploration Geophysicist ITS Student Chapter* (2015-2017). Penulis juga sering mengambil peran dalam kepanitiaan beberapa kegiatan baik tingkat jurusan, fakultas, maupun institut.

Penulis juga aktif mengikuti untuk mengembangkan diri dibidang geofisika di antaranya ikut serta dalam Kuliah Lapangan Kabuh Jombang pada tahun 2015, Kuliah Lapangan Karangsambung 2015, Kuliah Lapangan di Surabaya 2017. Apabila ada hal-hal yang ingin didiskusikan terkait dengan topik Tugas Akhir ini, Anda dapat menghubungi penulis melalui e-mail Beni.ikian@gmail.com atau nomor kontak +6285296586423.

Sekian dan terima kasih.